Postverlagsort Göttingen

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

UNTER MITWIRKUNG VON

J. BARTELS H. BROCKMANN P. TEN BRUGGENCATE C. W. CORRENS H. v. FICKER R. GRAMMEL
O. HAHN R. HARDER M. HARTMANN W. HEISENBERG A. KÜHN M. v. LAUE H. MARTIUS
R. W. POHL H. REIN E. SCHMIDT H. STILLE

HERAUSGEGEBEN VON

ARNOLD EUCKEN

SPRINGER-VERLAG IN BERLIN UND GÖTTINGEN

HEFT 5 (129—160) 15. SEPTEMBER 1946*) 33. JAHRGANG

INHALT:

Die Entdeckung des Planeten Neptun auf der Berliner Sternwarte vor 100 Jahren. Von DIEDRICH WATTENBERG 129

Über die Valenzenergien des Fluors. Von E. WICKE 132

Erdmagnetismus zu Gauß' Zeiten und heute. Von J. BARTELS 140

Der Einfluß von Vitamin T auf Körperform und Entwicklung. Von WILHELM GOETSCH 149

KURZE ORIGINALMITTEILUNGEN:

Zwei Arten der abnormalen E-Schicht. Von WALTER DIEMINGER 154

Der Thomsoneffekt der Metalle bei hohen Temperaturen. Von H. PAETOW 156

Die Lichtausbeute elektronenerregter ZnS-ZnSe-Phosphore im Bereich geringer Stromdichten. Von W. HEIMANN und F. SCHUH 157

Zur Kondensation von aliphatischen Nitrilen mit Estern, Aldehyden und Ketonen. Von HANS LETTRE, GEROLD MEINERS und HEINZ WICHMANN 157

Eine weitere Methode zur Isolierung der Subcutis oder Epidermismembran von Keratinfasern. Von E. ELÖD und H. ZAHN 158

Über ein neues Gerät zur Messung von Reizzeitstromkurven an Nerven. Von WERNER KROEBEL 158

Über den Stoffwechsel einer thermophilen Blaualge. Von ERWIN BÜNNING und HEDWIG HERDTLE . 159

BESPRECHUNGEN:

EDWIN FELS, Landgewinnung in Griechenland. (Ref.: W. Meinardus) 159

RUD. RICHTER, Einführung in die Zoologische Nomenklatur durch Erläuterung der Internationalen Regeln. (Ref.: M. Schwarzbach) 160

TAGESNOTIZEN:

60. Geburtstag von R. Seeliger 160

Wissenschaftliche Tagung der nordwestdeutschen Physiker in Göttingen 160

*) Ausgegeben im Dezember 1946.

In Kürze erscheint:

Theorie der Supraleitung

Von

Professor Dr. Max von Laue
Göttingen

Mit 31 Abbildungen. IV, 124 Seiten. RM 12.–

Inhaltsübersicht:

Einleitung. — Die grundlegenden Tatsachen. — Stromverteilung zwischen parallel geschalteten Supraleitern. — Die Grundgleichungen der Maxwell-Londonschen Theorie. — Raumladungen im Supraleiter. — Die Erhaltung der Energie. — Die Telegraphengleichung. — Stationäre Felder. — Der stromdurchflossene Draht. — Der stromdurchflossene Hohlzylinder. — Zylinder im homogenen Magnetfeld. — Die supraleitende Kugel im homogenen Magnetfeld. — Dauerströme. — Die Maxwell-Londonschen Spannungen. — Elektrische Schwingungen in Supraleitern. — Der Hochfrequenzwiderstand der Supraleiter. — Die Thermodynamik des Übergangs vom Normal- zum Supraleiter. — Der Grenzwert der magnetischen Feldstärke für „dünne" Supraleiter. — Der Zwischenzustand.

SPRINGER-VERLAG / BERLIN UND GÖTTINGEN

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

erscheinen vorerst etwa halbmonatlich und können durch die Post und jede Sortimentsbuchhandlung bezogen werden. Preis für 12 Hefte mit zusammen etwa 24 Druckbogen RM. 24.—, für das einzelne Heft RM. 2.50 zuzüglich Postgebühren.

Manuskriptsendungen, Bücher usw. werden erbeten an

„Die Naturwissenschaften"

Göttingen, Bürgerstraße 50

Institut für physikalische Chemie.

Nachdruck: Der Verlag behält sich das ausschließliche Recht der Vervielfältigung und Verbreitung aller in dieser Zeitschrift zum Abdruck gelangenden Beiträge sowie ihrer Verwendung für fremdsprachliche Ausgaben vor.

Anzeigen werden vom Verlag angenommen. Die Preise wolle man unter Angabe der Größe und des Platzes erfragen.

Springer-Verlag OHG.

Berlin-Charlottenburg, Jebensstraße 1.

Fernsprecher 32 20 70

Demnächst erscheinen die inzwischen lizenzierten nachfolgenden Zeitschriften:

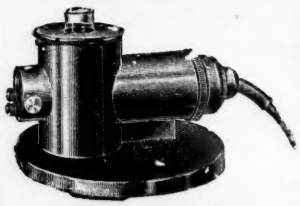
Archiv für Gynäkologie • Deutsches Archiv für klinische Medizin
Frankfurter Zeitschrift für Pathologie • Zeitschrift für Krebsforschung
Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und -Forschung

J. F. BERGMANN / MÜNCHEN

Seifert-Tetralux
der bekannte
Halbwellen-Diagnostik-Röntgenapparat

Wir empfehlen uns für die Instandsetzung von Röntgen- und elektromed. Apparaten aller Fabrikate

Rich. Seifert & Co.
Röntgenwerk Hamburg 13



Lichtelektrisches
Becherglas-Kolorimeter
mit Reagenzglaseinsatz
kurzfristig lieferbar;

ebenso **Photoelemente, Luxmeter** und **Ultra-Relais.**

Dr. B. Lange, Bln.-Zehlendorf,
Hermannstr. 14/18. Tel.: 805058.

Selbständigen Konstrukteur
für **elektromedizinische** Geräte, möglichst mit Erfahrungen auf dem **Hochfrequenzgebiet,** sucht
Siemens-Reiniger-Werke AG., Erlangen

Laborgerät, Mikroskop, Waage, Feinmeßgeräte, Glasballons, Reagenzgläser, Kolben usw.
dringend zu kaufen gesucht.
Schnellbau-Technik G. m. b. H.,
(13b) Murnau/Obb., Postfach 5, Bergstraße 59.

1 Abbescher Refraktometer
(möglichst mit Prozentablesung der Trockensubstanz),
1 Gleichrichter
2,5 Amp., 220 Volt, Glättung 10 %, zu kaufen gesucht.
Chemisches Laboratorium
vorm. Dr. C. Bischoff
Berlin-Schöneberg,
Akazienstraße 28 – Telefon 711467.

Ältere Jahrgänge
der „Naturwissenschaften", auch andere naturwissenschaftliche Zeitschriften, sowie physikal.-chem. Nachschlagewerke zu kaufen gesucht.
Dr. Hahn, (10) Bautzen, Jägerstraße 25

Holsteinische Wertarbeit
JDEM **Punkt-Brillengläser**
Winkelprismen — Gefällmesser
Lupen — Leseglöser — Fadenzähler
Optische Instrumente
J. D. Möller G. m. b. H., **Wedel i. Holst.**

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

33. Jahrgang 15. September 1946 Heft 5

Die Entdeckung des Planeten Neptun auf der Berliner Sternwarte vor 100 Jahren.

Von DIEDRICH WATTENBERG.

Die Entdeckung des Planeten Neptun im Jahre 1846 auf Grund rein theoretischer Vorausberechnungen gehört ohne Zweifel zu den größten Triumphen des forschenden Menschengeistes, der nicht nur in der Astronomie als eine beispiellose Leistung dasteht, sondern gleichermaßen auch in der übrigen gelehrten und ungelehrten Welt eine niemals verblassende Bewunderung gefunden hat.

Seit Jahrtausenden kannte die Menschheit außer Sonne, Mond, Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn keine weiteren Wandelgestirne. Durch sie schien die Siebenzahl für alle Zeiten eindeutig geheiligt. Zwar hatte Kepler bereits auf die große zwischen Mars und Jupiter klaffende Lücke hingewiesen, so daß wiederholt versucht wurde, einen hier noch vermuteten Planeten aufzufinden. Doch erst 1801 waren diese Bemühungen von einem Erfolg gekrönt, als es PIAZZI gelang, mit der Auffindung des Planetoiden Ceres eine fast endlos erscheinende Kette von Planetenentdeckungen einzuleiten, die bis heute zur Feststellung von rund 1600 kleinen Planeten zwischen Mars und Jupiter geführt hat. Aber jenseits der Saturnbahn schien es doch keine Welten mehr zu geben. Als dann im Jahre 1759 der Halleysche Komet wiederkehrte und 1 Monat früher sein Perihel erreichte als nach der Theorie zu erwarten war, stellte A. C. CLAIRAUT (nach Mädler) (1) die kühne Vermutung auf, daß ein außerhalb der Saturnbahn befindlicher Planet möglicherweise die Bewegung des Kometen gestört und dadurch seine Verfrühung bewirkt haben könnte. Dieser Gedanke scheint damals kaum eine tiefere Beachtung gefunden zu haben. Und so ist es auch zu verstehen, daß W. HERSCHEL völlig unbeeinflußt hiervon durch reinen Zufall im Jahre 1781 den jenseits des Saturn wandernden Uranus entdecken konnte. Insoweit stellt die Auffindung des Uranus immerhin (wenn auch unvermittelt) eine recht verblüffende Bestätigung der CLAIRAUTschen Vermutungen dar.

Bald stellte sich jedoch heraus, daß der Uranus schon vor seiner Auffindung durch HERSCHEL von mehreren anderen Beobachtern als Fixstern wahrgenommen worden war. Diese bis 1690 zurückreichenden Aufzeichnungen erwiesen sich alsdann für die Berechnung der Bahn des neuen Planeten von einem nicht zu unterschätzenden Wert. Kurz hernach mußte man aber erkennen, daß die Uranusbewegung von der durch die Theorie geforderten Bahn erhebliche Abweichungen zeigte. Der Planet schien in seinem Lauf zu „taumeln", er lief schneller oder blieb zurück, ohne daß dafür eine ausreichende Erklärung gefunden werden konnte. Diese Abweichungen traten besonders deutlich hervor, nachdem ALEXIS BOUVARD (2) das gesamte erreichbare Beobachtungsmaterial für seine 1821 herausgegebenen Planetentafeln reduzierte. Dabei ergab sich, daß die aus den bis zum Jahre 1820 vorliegenden Beobachtungen abgeleitete Bahn die Beobachtungen bis 1781 zwar leidlich darstellte, während ein Vergleich mit den zweifellos zuverlässigeren Beobachtungen des Zeitraums 1781—1820 einen unvereinbaren Widerspruch aufdeckte. Dagegen ließ sich die ausschließlich aus den neueren Beobachtungen hergeleitete Bahn nicht auf die Beobachtungen vor 1781 anwenden, so daß BOUVARD die Genauigkeit der älteren Messungen in Zweifel zog und sich entschloß, für die Berechnung der Bahn des Uranus nur Beobachtungen nach 1781 zu verwenden. In der Einleitung zu seinen Tafeln hob er diese Schwierigkeiten unverhüllt hervor, betonte aber besonders, „daß er es der Zukunft überlassen müsse, zu entscheiden, ob die vorhandenen Schwierigkeiten ihren Grund in der Ungenauigkeit der alten Beobachtungen habe oder von einer fremden und unbekannten Kraft herrühre, die auf den Planeten eingewirkt hätte" (3).

Anfangs schienen dann die BOUVARDschen Tafeln die Uranusbewegungen mit ausreichender Genauigkeit wiederzugeben. Doch schon im Jahre 1828 machte AIRY auf erhebliche Fehler in den Greenwicher Beobachtungen aufmerksam, die zwei Jahre später auf 20", 1840 auf 90" und 1844 sogar auf 120" anstiegen. Wieder stand man vor einem zunächst unlösbar erscheinenden Rätsel. Sollte am Ende das NEWTONsche Gesetz von der allgemeinen Schwere, das sich damals längst als eine unantastbare Grundlage aller Bewegungen im Planetensystem erwiesen hatte, doch nicht von der ihm zugestandenen universellen Gültigkeit sein? Zu einer solchen Resignation lag gewiß kein Anlaß vor. Und in der Tat: Bald schien sich ein Hoffnungsschimmer zu zeigen, der sich dann wie eine Erleuchtung über die Astronomen der damaligen Zeit senkte: Die Ursache der Uranusstörungen mußte ein jenseits der Uranusbahn wandernder Planet sein!

Erstmalig ist dieser Gedanke in Verbindung mit den Uranusstörungen wohl von F. W. BESSEL ausgesprochen worden, als er 1823 in einem Briefe an W. OLBERS eine auf die Uranusbewegungen bezügliche Untersuchung in Aussicht stellte, deren Ergebnisse „zu den schönsten Bereicherungen der Wissenschaft" führen sollten. Auch mit ARAGO, J. HERSCHEL und AIRY hat BESSEL dieserhalb im Briefwechsel gestanden (4), bedauerlicherweise aber wohl niemals die Zeit gefunden um selbst diese schwierigen Untersuchungen zu einem endgültigen Abschluß zu bringen, so daß er 1838 ihre Weiterführung seinem Schüler FLEMMING übertrug. Tatsächlich hatten die Reduktionen und deren Vergleichung mit den Tafeln im Frühling 1840 gute Fortschritte gemacht, wie ein noch unveröffentlichter Brief BESSELs (5) vom 30. April 1840 an J. G. GALLE besagt. Leider setzte der plötzliche Tod FLEMMINGs (1840) diesen Arbeiten erneut ein Ziel. Wie klar sich der Gedanke an den noch nicht entdeckten Planeten bei BESSEL aber bereits herausgebildet hatte, brachte er mit lichtvollen Worten in einem am 28. Februar 1840 in Königsberg gehaltenen Vortrag zum Ausdruck, wenn er sagte: „Man muß nicht glauben, daß dieser merkwürdige Fall gegen die Anziehungslehre selbst streite. Wahrscheinlich wird gerade die Lehre von der Anziehung den hier berührten Fall erklären, indem sie zugleich eine Entdeckung im Sonnensystem ergeben wird. Fernere Versuche der Erklärung dieser Bewegungsanomalien werden nämlich die Absicht verfolgen, einem unbekannten Planeten jenseits des Uranus eine Bahn und eine Masse anzuweisen, welche so beschaffen ist, daß daraus Störungen des Uranus hervorgehen, welche die jetzt nicht vorhandene Übereinstimmung seiner Berechnung herstellen" (6). Zweifelsohne wäre BESSEL damit schon damals die Palme des intuitiven Erstentdeckung des transuranischen Planeten zugefallen, wenn nicht eine tückische Erkrankung seine Arbeitskraft allzu schnell untergraben und schließlich

im März 1846 seinen Tod herbeigeführt hätte. Dennoch bleiben BESSELs Verdienste unvergessen. Er ist der geniale Begründer der „Astronomie des Unsichtbaren", der nicht nur den unbekannten Planeten zuerst schaute, sondern darüber hinaus in ganz ähnlicher Weise im Jahre 1844 aus seinen Meridianbeobachtungen der Fixsterne Sirius und Prokyon mit bewundernswertem Scharfsinn den zwingenden Schluß zog, daß die damals bekannt werdenden Ungleichförmigkeiten in den Eigenbewegungen beider Sterne nur durch die Anwesenheit von dunklen störenden Massen in ihrer unmittelbaren Nähe erklärt werden könnten. Noch in seinen letzten Lebenstagen schrieb er in diesem Sinne an A. v. HUMBOLDT: „Ich beharre in dem Glauben, daß Prokyon und Sirius Doppelsterne sind, bestehend aus einem sichtbaren und einem unsichtbaren Stern" (7). Die Wissenschaft hat auch diese Vision zur Wahrheit erhoben; denn tatsächlich ist 1862 der Siriusbegleiter und 1896 der Prokyonbegleiter gefunden worden.

Von derselben Zuversicht erfüllt, mit der BESSEL die vorläufigen Ergebnisse seiner Untersuchungen vorgetragen hatte, schrieb MÄDLER (8) 1841 mit fast prophetisch anmutendem Weitblick, „daß die Analysis einst den höchsten ihrer Triumphe feiern und dadurch ihr geistiges Auge Entdeckungen in Regionen machen werde, in die das körperliche bis dahin einzudringen nicht vermochte". Und 1846 heißt es bei dem gleichen Astronomen (9): „Einst wird eine neue Art von Entdeckungen beginnen, nachdem die alten, die das Fernrohr gemacht, wenigstens innerhalb der Grenzen unseres Sonnensystems abgeschlossen zu sein scheinen. Wohin kein Fraunhoferscher Refraktor, kein Herschelsches oder Rossesches Riesenteleskop dringt, dahin wird das geistige Fernrohr, die Analysis, vordringen und die neue Ernte beginnen .... Der Analytiker wird dem Astronomen das Fernrohr richten und ihn den noch unbekannten Planeten finden lehren; aber auch selbst wenn dies nicht gelänge, wird er seiner Sache gewiß sein" (!) Damit war der Theorie und Beobachtungskunst eine Aufgabe zugewiesen, deren Lösung zwar zunächst noch ausblieb, auch als sich andere Astronomen wie HUSSEY, VALZ und SOMERVILLE jenen Fragen zuwandten und die Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen die Theorie des Uranus im Jahre 1842 zum Gegenstand einer Preisfrage machte.

Nachdem dann im Jahre 1845 in Paris neue von EUGEN BOUVARD (einem Neffen des ALEXIS BOUVARD) bearbeitete Uranustafeln veröffentlicht wurden, stellten sich die Uranusbewegungen im ganzen wohl etwas besser dar als nach den bisherigen Tafeln, allein der Verfasser sah sich auch diesmal zu der einschränkenden Bemerkung genötigt, „daß die übrig bleibenden Fehler den Störungen eines entfernten Himmelskörpers zuzuschreiben seien". Damit war die Unmöglichkeit, einwandfreie Tafeln des Uranus herzustellen, erneut bekräftigt. Sicherlich ist dieser Umstand dann für ARAGO, der damals Direktor der Pariser Sternwarte war, der äußere Anlaß gewesen, im Sommer 1845 den jungen Ingenieur und Mathematiker U. J. J. LE VERRIER, der sich bereits seit 1839 durch mehrere Veröffentlichungen über Fragen der theoretischen Astronomie einen Namen gemacht hatte, zu eingehender Beschäftigung mit der Theorie des Planeten Uranus aufzufordern. Mit erstaunlicher Umsicht und Gründlichkeit, die in gewissen Stadien einer Kühnheit nicht entbehrte, wandte sich LE VERRIER seiner Aufgabe zu und legte bereits am 10. November 1845 der Pariser Akademie seine erste Untersuchung vor, der am 1. Juni, 31. August und 6. Oktober 1846 drei weitere Abhandlungen (10) folgten. Mit aller Strenge ermittelte LE VERRIER zunächst die durch Jupiter und Saturn auf Uranus ausgeübten Störungen, wobei sich in BOUVARDs Tafeln zahlreiche Fehler herausstellten. Als aber auch nach Berichtigung und Erweiterung der Tafelwerte immer noch erhebliche Abweichungen bestehen blieben und ebenfalls die aus den Beobachtungen von 1690—1845 neu abgeleiteten Bahnelemente des Uranus keine Klarheit brachten, schritt LE VERRIER unverzüglich zur rechnerischen Einkreisung des vermuteten störenden Planeten und zur Ableitung dessen Elemente. Gestützt auf die nach damaliger Annahme in der TITIUS-BODEschen Reihe hinsichtlich der Entfernungen im Sonnensystem zutage tretenden Gesetzmäßigkeiten, ein Schluß, der sich bald als recht verhängnisvoll erwies, gelangte LE VERRIER zu einer Annahme über die Entfernung und damit auch für die Umlaufszeit und vermutliche Masse, so daß schließlich die Elemente der Bahn für den Anfang des Jahres 1847 wie folgt gegeben werden konnten:

Halbe große Achse	36,154	Erdbahnhalbmesser
Siderische Umlaufszeit	217,387	Jahre
Exzentrizität	0,10761	
Länge des Perihels	284° 45'	
Mittl. Länge am 1. 1. 1847	318° 47'	
Masse	1/9300	Sonnenmassen

Angesichts dieser sehr genauen Angaben ist es heute nur schwer zu begreifen, aus welchem Grunde auf keiner Sternwarte der Versuch gemacht wurde, an der bezeichneten Stelle des Himmels den Planeten zu suchen und zu finden, obwohl ausreichende Fernrohre dazu verfügbar waren. Wenigstens hätte man erwarten sollen, daß in Paris ein derartiger Versuch unternommen worden wäre. Vielleicht war aber das Problem vielen maßgeblichen Astronomen doch zu spekulativ, schreibt doch selbst GAUSS (11) noch am 11. Juli 1846 darüber an SCHUMACHER: „Über das Gewicht, welches seiner (LE VERRIERs) Hypothese beigelegt werden darf, läßt sich nicht urteilen, bis seine Rechnungen zu gründlicher Prüfung vorgelegt sind". Heute wissen wir, daß der Mangel an guten Sternkarten die vorzeitige Auffindung des Planeten aussichtslos gemacht hätte, zumal die damals verfügbaren Karten bei weitem nicht alle Sterne der 8. und 9. Größenklasse umfaßten. Erst als BESSEL nach Vollendung seiner Königsberger Zonenbeobachtungen das Unternehmen der Berliner Akademie zur Herausgabe der Akademischen Sternkarten ins Leben rief, boten sich verheißungsvoll die erforderlichen Hilfsmittel dar. Diese im wesentlichen nach BESSELs Beobachtungen hergestellten Karten, deren jede jeweils eine Stunde in Rektaszension enthielt, sollten namentlich die Auffindung von kleinen Planeten erleichtern und beschränkten sich deshalb auch nur auf eine 30° breite Zone beiderseits des Äquators. Zur Zeit der Veröffentlichung der LE VERRIERschen Elemente war aber die fragliche Karte mit den Sternen des Wassermanns noch nicht fertig bzw. von der Berliner Sternwarte noch nicht zur Versendung gekommen. Und so kam es dann, daß einem Berliner Astronomen sehr bald die dankenswerte Aufgabe zufiel, den Schlußstein unter diese fast dramatisch zu nennende Entwicklung zu setzen.

Am 23. September 1846 erhielt der Observator der Berliner Sternwarte (damals am Encke-Platz) Dr. J. G. GALLE (12) jenen denkwürdigen Brief LE VERRIERs vom 18. September 1846, in dem dieser eingangs für die (übrigens schon ein Jahr zuvor und ohne Zusammenhang mit den Uranus-Rechnungen erfolgte) Zusendung von GALLEs Doktordissertation über das berühmte Triduum Observationum astronmicarum des dänischen Astronomen OLAF ROMER dankte, anschließend aber darum bat, „der unermüdliche Beobachter möge einige Augenblicke einer Gegend des Himmels widmen, wo noch ein Planet zu entdecken wäre". (Aujourd'hui je voudrai obtenir de l'infatigable observateur qu' il voulais bien consacrer quelques instants à l'examen d'une region du ciel, oû il peut rester une planète à

découvrir. C'est la théorie d'Uranus qui m'a conduit à ce résultat). Angaben über die gefundenen Elemente und ein Hinweis darauf, daß der scheinbare Durchmesser des Planeten vermutlich 3" betragen werde, beschließen dieses einmalige Dokument (13).

Obwohl J. F. ENCKE, damals Direktor der Berliner Sternwarte, sich einige Zeit vorher in Ansehung der in den Comptes Rendus veröffentlichten Abhandlungen LE VERRIERs ablehnend gezeigt hatte, weil darin doch allzu problematische Spekulationen begründet zu sein schienen, so stimmte er doch jetzt nach Eingang des LE VERRIERschen Briefes der Aufsuchung am großen Refraktor zu. Dieses vierzehnfüßige FRAUNHOFERsche Fernrohr mit 9 Zoll Öffnung gehörte damals zu den größten und besten Fernrohren dieser Art. An jenem fraglichen Tage äußerte der in Berlin seinen astronomischen Studien obliegende H. L. D'ARREST, von der Ankunft des Briefes vernehmend, GALLE gegenüber den Wunsch, an der für den gleichen Abend geplanten Aufsuchung teilnehmen zu dürfen. Gern wurde diesem Wunsch entsprochen. Entgegen anderen Nachrichten hierüber ist aber zu bemerken, daß D'ARREST der Sternwarte selbst nicht angehörte. Über den weiteren Hergang der Aufsuchung hat GALLE später folgende Darstellung gegeben:

„Das Wetter war an dem Abend des 23. September vollkommen günstig, besondere Vorbereitungen für die Beobachtung wurden nicht getroffen, da zunächst der Durchmesser zur Erkennung eines etwaigen Planeten geeignet schien. Da indeß bei der in Wirklichkeit 2" wenig überschreitenden Größe desselben auf diesem Wege keine Sicherkeit zu erreichen war, so mußte an die Beschaffung einer Sternkarte gedacht werden, wofür es damals neben dem HARDINGschen Atlas nur die noch sehr lückenhaften und seit langem ihrer Vollendung harrenden Berliner Akademischen Sternkarten gab .... Wir gingen dieserhalb in das Vorzimmer ENCKEs, wo in einer mir wohlbekannten Schublade diese Sternkarten in einem sehr wenig geordneten Zustande übereinander lagen, und in der Tat fand sich ein Abdruck der Sternkarte von Bremiker Hora XXI, die ... vor nicht langer Zeit erst in Berlin fertig geworden und durch den Buchhandel noch nicht verbreitet war (15). Mit dieser Karte zu dem Refraktor zurückkehrend fand ich, zwar nicht sofort beim Hineinsehen, ... aber bald nach einigen Vergleichungen den betreffenden Stern 8. Größe, dessen Fehlen auf der Karte zu bemerkenswert erschien, um nicht wenigstens mit einer Beobachtung desselben einen Versuch zu machen, woran demnächst auch ENCKE, dem gleichfalls davon und von allen Details Kenntnis gegeben wurde, noch in derselben Nacht teilnahm. Die Beobachtungen wurden bis gegen Morgen fortgesetzt, allein ungeachtet der großen Vervielfältigungen derselben wollte es nicht gelingen, die Bewegungen sicher zu konstatieren, wenn auch eine schwache Spur einer Veränderung in dem erforderten Sinne daraus hervorzugehen schien. Mit vieler Spannung mußte daher noch der Abend des 24. September abgewartet werden, wo die weitere Nachforschung gleichfalls vom Wetter begünstigt war und wo nun die Existenz des Planeten sich zweifellos herausstellte."

So konnte GALLE (16) bereits am 25. September 1846 an LE VERRIER schreiben: „La planète dont vous avez signalé la position existe réellement". In dem gleichen Brief schlug GALLE als Namen für den neuen Planeten „Janus" vor. Den ersten Bericht für die Öffentlichkeit verfaßte ENCKE (17), in dem er eine ausführliche Schilderung von den Ereignissen in der betreffenden Nacht gibt. Nach LE VERRIERs Elementen sollte der Planet am 23. September 1846 eine Länge von 324° 58' haben; die Beobachtungen in Berlin ergaben 325° 53', also nur einen Unterschied von 55' (= 1,7 Vollmondbreiten). Das war gewiß ein erstaunliches Ergebnis! Die Messungen des Scheibendurchmessers zeigten zwar je nach den atmosphärischen Verhältnissen Schwankungen zwischen 2,2" und 3,2", aber „ich glaube", so fährt ENCKE fort, „der Durchmesser wird wohl 2,5" oder etwas mehr, doch nicht 3,0" betragen. Auch hierin hat sich die Vermutung von Herrn LE VERRIER, der 3,3" annimmt, bestätigt. — Es ist dies die glänzendste unter allen Planetenentdeckungen, weil rein theoretische Untersuchungen Herrn LE VERRIERs die Existenz und den Ort eines neuen Planeten haben voraussagen lassen".

Ein Sturm der Begeisterung ging durch die Welt! Mit beispielloser Kühnheit hatte die exakte Naturforschung in das Sternenall hinausgegriffen. Ein Planet, durch Intuition geschaut und mit Hilfe der Analysis in seinem Wesen am Schreibtisch erkannt, stand tatsächlich an der Stelle des Himmels, die ihm mit der Schärfe des Rechenstiftes angewiesen war. Mit Bewunderung sah die ganze kultivierte Menschheit auf den Genius des LE VERRIER und den Entdecker GALLE, denen Ehrenbezeugungen aus aller Welt zuteil wurden. In diesem Augenblick, wo menschliche Geistesarbeit ihre höchsten Triumphe feierte, rief jedoch die Namensgebung den ersten Anlaß zu heftigen Auseinandersetzungen hervor. GALLE hatte „Janus" in Vorschlag gebracht, und zwar nicht in Ansehung des Doppelantlitzes, als vielmehr in Erinnerung an einen einige Zeit vorher von dem Philosophen SCHELLING in der Akademie gehaltenen Vortrag über jene „uralte, den Uranus an Alter noch überragende Gottheit der Römer" (18). LE VERRIER, der zweifellos zur Taufe des Planeten berechtigt war, lehnte diesen Namen in seinem Antwortbrief (19) vom 1. Oktober 1846 an GALLE mit dem Hinweis ab, daß dieser Name die Begrenzung des Sonnensystems dartun werde, wofür aber kein Anhalt gegeben sei. Er heiße indessen den vom Bureau des Longitudes in Paris befürworteten Namen „Neptun" gut. Andere Bemühungen (ARAGO) drängten den Namen „Leverrier" in den Vordergrund, bis endlich nach manchem Zweifel der Name Neptun endgültig angenommen wurde (20).

Unmittelbar nach der Bekanntgabe der Entdeckung des Neptun auf Grund der Berechnungen LE VERRIERs ergab sich die so manche große wissenschaftliche Entdeckung kennzeichnende, höchst merkwürdige Eigentümlichkeit, daß neben LE VERRIER noch ein anderer junger Rechner ein wesentliches Verdienst an der analytischen Ermittlung des Planetenortes hatte. Bereits im Jahre 1844 hatte sich nämlich der englische Student J. C. ADAMS in Cambridge dem gleichen Fragenkomplex zugewandt und war unter Verwendung der Greenwicher Uranusbeobachtungen des Zeitraums 1754 bis 1830 zu ähnlichen Ergebnissen gelangt, wie sie von LE VERRIER der gelehrten Welt vorgelegt wurden. ADAMS übergab seine Rechnungen im Oktober 1845, also ein Jahr vor der Entdeckung des Neptuns durch GALLE, dem Leiter der Greenwicher Sternwarte G. B. AIRY, den er aber nicht sogleich antraf, so daß AIRY sich am 5. November 1845 brieflich an ADAMS wandte, um angesichts seiner verblüffenden Resultate von ihm zu erfahren, ob dadurch ebenfalls die Fehler in der Entfernung des Uranus ausgeglichen würden. Anscheinend sah AIRY dies als experimentum crucis für das Dasein eines Planeten und somit als Ursache der Uranusstörungen an. Eine Antwort ging nicht ein, so daß in dieser Angelegenheit in England zunächst nichts geschah. Auch hier ist nur schwerlich zu erkennen, aus welchem Grunde nicht ADAMS selbst in Cambridge die Auffindung des von ihm berechneten Körpers versuchte. Als dann aber LE VERRIERs Abhandlungen erschienen, griff AIRY die Frage erneut auf, indem er

Challis in Cambridge veranlaßte, mit dem großen Northumberland-Teleskop Nachforschungen nach dem Planeten anzustellen.

ADAMS war ebenso wie LE VERRIER von der Richtigkeit der TITIUS-BODEschen Reihe ausgegangen und hatte folgende Elemente der Planetenbahn gefunden:

Halbe große Achse	38,4 Erdbahnhalbmesser
Siderische Umlaufszeit	238 Jahre
Exzentrizität	0,1610
Länge des Perihels	315° 55'
Mittlere Länge am 1. 10. 1845	323° 34'
Masse	1/6660 Sonnenmassen.

Diese Elemente stimmen mit LE VERRIERs Rechnungen sehr gut überein; denn auch hier war der wirkliche Planetenort von der Vorausberechnung nur kaum 1° entfernt. Trotzdem brachten die am 28. Juli 1846 begonnenen Beobachtungen keine Entscheidung, obwohl (wie sich später herausstellte) der Planet am 4. und 12. August tatsächlich beobachtet worden war, was CHALLIS auch zweifellos erkannt haben würde, wenn er seine Beobachtungen laufend reduziert hätte. So geschah es, daß der Planet in Berlin entdeckt wurde, bevor die Rechnungen ADAMS veröffentlicht und die Beobachtungen in Cambridge abgeschlossen waren. Über diesen historisch ungemein lehrreichen und interessanten Tatbestand hat AIRY (21) am 13. November 1846 in der Kgl. Astronomischen Gesellschaft zu London einen erschöpfenden Bericht gegeben. Schmerzlich bleibt dennoch der nicht immer wohlfeil geführte Prioritätsstreit, der sich anschließend an jene denkwürdigen Leistungen entspann, den aber die Geschichte doch klar entschieden hat. „ADAMS Verdienste werden nicht vergessen werden, aber zur Auffindung haben eben nur LE VERRIERs Bemühungen geführt, und der Astronom wird bei der Preisverteilung zwischen beiden Arbeiten LE VERRIER die Palme zuerkennen, der alle Grundlagen prüfte, das Problem tiefer faßte und die Grenzen der Genauigkeit des erlangten Resultats bestimmte" (22).

Die Bestimmung der Bahnelemente des Neptun aus den Beobachtungsdaten führte zu neuen Schwierigkeiten, die den Ruhm der Entdeckung abermals zu schmälern drohten. Schon die ersten Bahnbestimmungen ließen jegliche Übereinstimmung, sowohl mit ADAMS als auch mit LE VERRIERS Elementen, vermissen, so daß eine Entscheidung erst denkbar erscheinen wollte, wenn der Planet ein größeres Stück seiner Bahn durchmessen haben würde oder sich ältere Beobachtungen nachweisen ließen, in denen er vermutlich als Fixstern aufgeführt war. In der Tat gelang es, zwei derartige Beobachtungen von LALANDE vom 8. und 10. Mai 1795 und drei weitere von LAMONT (München) vom 25. Oktober 1845 sowie vom 7. und 11. September 1846 aufzufinden, die eine genauere Ableitung der Bahn zuließen. Dabei zeigte sich, daß die mittlere Entfernung des Planeten von der Sonne nicht 36 Erdentfernungen (nach Le VERRIER) oder 38 Erdentfernungen (nach ADAMS), sondern nur 30,1 Erdentfernungen betrug. Die Umlaufszeit war demzufolge nicht 217 bzw. 238 Jahre, sondern nur 165 Jahre und im selben Sinne entsprach die Masse nicht 1/9300 bzw. 1/6660, sondern 1/19400 Sonnenmassen. Ferner wich die Richtung von der Sonne nach dem nächsten Punkt der Bahn in beiden Rechnungen rund 120° von den tatsächlichen Verhältnissen ab, so daß mit einem gewissen Recht der Einwand erbracht wurde, der von GALLE entdeckte Planet Neptun sei mit keinem der berechneten Planeten identisch und die Auffindung beruhe lediglich auf einem besonders glücklichen Zufall. Nach Maßgabe der Umstände konnte davon aber keine Rede sein, wenngleich es auch als recht merkwürdig angesehen werden mußte, daß die Störungen des Uranus innerhalb eines begrenzten Zeitraums durch zwei Körper in sehr unterschiedlichen Bahnen gedeutet werden konnten. Indessen waren aber die Annahmen über die Richtung, in welcher der Planet zu suchen war, aus den Störungen des Uranus leichter zu gewinnen gewesen als die Unterlagen für seine Entfernung. Dagegen ließen sich die Störungen innerhalb großer Distanzen nur durch unterschiedliche Annahmen der Massenwerte erklären, hatte doch LE VERRIER entsprechend der von ihm angenommenen größeren Entfernung auch eine größere Masse in die Rechnung eingeführt, so daß sich am Ende durch das glückliche Zusammentreffen verschiedener Zufälligkeiten (weil nämlich die Übereinstimmung für die Zeit der vorliegenden Beobachtungsgrundlagen dafür gerade besonders günstig war) die Wege auftaten, die dann zur optischen Auffindung des Neptun geführt haben. Damit rundet sich für alle Zeiten das Bild einer astronomischen Entdeckung zu einem Ereignis von weltweiter Bedeutung, das immer wieder die Gemüter erheben und zu neuer Bewunderung anhalten wird.

Noch einmal hat sich dieselbe Begebenheit wiederholt, als aus den Störungen des Neptun abermals der Rückschluß auf einen transneptunischen Planeten gezogen werden mußte. Die Entdeckung des Planeten Pluto im Jahre 1930 hat dann in dieser Beziehung einen abermaligen Triumph ausgelöst (23).

Eingegangen am 8. August 1946.

Literatur.

1. J. H. MÄDLER, Astronomische Briefe (Mitau 1846) S. 452. — 2. A. BOUVARD, Tables astronomiques . . contenant les tables de Jupiter de Saturne et d'Uranus (Paris 1821). — 3. BRUNO PETER, Die Planeten (Leipzig 1909) S. 122. — 4. R. WOLF, Geschichte der Astronomie (München 1877) S. 537. — 5. Brief im Besitz des Verfassers. — 6. Zitiert nach: S. OPPENHEIM, Das astronomische Weltbild im Wandel der Zeit (Leipzig 1912) S. 122; vergl. J. H. REPPSOLD, Friedrich Wilhelm BESSEL, Astronomische Nachrichten Bd. 210 (1919) S. 211. — 7. R. WOLF, 1. c. S. 743. — 8. J. H. MÄDLER, Populäre Astronomie (Berlin 1841), S. 278. — 9. J. H. MÄDLER, Astronomische Briefe (Mitau 1846) S. 453. — 10. U. J. J. VERRIER, Premier Mémoire sur la théorie d'Uranus, C. R. XXI (1845) S. 1050; Recherches sur les mouvements d'Uranus, C. R. XXII (1846) S. 907; Sur le planéte qui produit les anomalies observées dans le mouvement d'Uranus, C. R. XXIII (1846) S. 428 und C. R. XXIII, S. 657. — 11. Briefwechsel C. F. GAUSS — H. C. SCHUMACHER (Altona 1863), Bd. V, S. 177. — 12. D. WATTENBERG, Johann Gottfried GALLE, Das Weltall, Jg. 34 (1935) S. 144. — 13. Der Brief befindet sich im Besitz der Familie Galle. Eine faksimilierte Wiedergabe enthält die Jubelschrift „Centenaire de la naissance de U. J. J. Le Verrier", Institut de France. (Paris 1911.) Der genaue Wortlaut findet sich ferner bei C. A. Chant, Joh. Gottfr. GALLE, Journal of the Royal Astr. Soc. of Canada (Sept.—Okt. 1910) S. 379. — 14. J. G. GALLE, Über die erste Auffindung des Planeten Neptun. Astron. Nachr., Bd. 89 (1877) S. 249; — A. GALLE, Die Entdeckung des Planeten Neptun, Deutsche Revue (Mai 1897), S. 222; — D. WATTENBERG, Aus der Entdeckungsgeschichte des Planeten Neptun. Die Sterne, 16. Jg. (1936), S. 41. — 15. Die Akademische Sternkarte Hora XXI war bereits am 9. 12. 1844 der Akademie zur Genehmigung vorgelegt worden und wurde im Laufe des Jahres 1845 gestochen. Vgl. J. G. GALLE, Astron. Nachr., Bd. 101 (1882), S. 219. — 16. Galles Brief vom 25. September 1846 an Le Verrier ist wörtlich nachzulesen bei: U. J. Le Verrier, Recherches sur les mouvements de la planète Herschel (Paris 1846), S. 252; J. P. Nichol, The planet Neptune. An Exposition and History (London 1848), S. 89; — Centenaire de la naissance de U. J. J. Verrier (Paris 1911), S. 19. — 17. J. F. ENCKE, Über die Entdeckung des Leverrierschen Planeten etc., Astron. Nachr. Bd. 25 (1846), S. 49. — 18. Vgl. A. Galle, l. c. S. 229. — 19. Brief im Besitz des Verfassers. — 20. Vgl. Astronom. Nachr., Bd. 25 (1846), S. 81, 107, 191, 237, 313 u. 389; — Briefwechsel C. F. GAUSS — H. C. SCHUHMACHER (Altona 1863), Bd. V, S. 211; — 2221. G. B. ALRY, Astron. Nachr., Bd. 25 (1846), S. 133—160. — 22. Vgl. A. Galle, C. c. S. 230. — 23. A. v. BRUNN, Ein neunter Planet. Die Sterne, 10. Jg. (1930), S. 78; — W. BRUNNER, Vom neuen Planeten Pluto, Neujahrsblatt der Naturforsch. Gesellschaft Zürich (1933), S. 5.

Über die Valenzenergien des Fluors[1]).

Von E. WICKE.

1. Thermochemische Bildungswärmen und Valenzenergien.

Den Chemiker interessiert in erster Linie die Frage, ob und unter welchen Bedingungen bestimmte chemische Verbindungen darstellbar sind. Diese Frage pflegt meist rein experimentell beantwortet zu werden. Doch besteht gegenwärtig auch die Möglichkeit, durch Anwendung gesicherter thermodynamisch-statistischer Formeln hier-

[1]) Der Erinnerung an O. RUFF gewidmet, der am 30. 12. 1946 seinen 75. Geburtstag feiern würde.

über theoretische Aussagen machen zu können. Allerdings ist dieser Weg nur dann praktisch gangbar, wenn bestimmte numerische Unterlagen zur Verfügung stehen. Unter diesen ist die weitaus wichtigste die sog. *Bildungswärme* der ins Auge gefaßten Verbindung, d. h. die Energie, die beim Zusammentritt der in ihr enthaltenen Elemente in Gestalt von Wärme frei wird.

Es ist einleuchtend, daß die beim Zusammentritt elementarer Bausteine zu einer Verbindung frei werdende Energie auch — ganz abgesehen von ihrer Bedeutung für thermodynamische Berechnungen — als *Maß für die Festigkeit der zwischen den einzelnen Atomen sich herstellenden Verkettungen* von erheblichem Interesse ist; allerdings bedarf es hierbei, um Fehlschlüsse zu vermeiden, der Berücksichtigung des folgenden Gesichtspunktes:

Der Thermochemiker pflegt seine Wärmetönungen auf den thermodynamisch stabilen Zustand der Elemente bei 18 oder 25° C und 1 atm zu beziehen und gibt als Ergebnis seiner Untersuchungen die *thermochemische Bildungswärme* einer Verbindung aus diesen *„Normalzuständen"* der Elemente an, zu deren Kenntnis er in der Regel durch kalorimetrische Messungen gelangt. Um aber etwas Bestimmtes über die Festigkeit des Zusammenhaltens der Atome in einer chemischen Verbindung aussagen zu können, muß man sich vorstellen, daß die Elemente aus ihren *„Normalzuständen"* zuerst zu gasförmigen Atomen aufgespalten werden, deren Zusammentritt dann die hier interessierende atomare *Bildungswärme* liefert. In der Regel bereitet die Umrechnung der thermochemischen (normalen) Bildungswärme in die atomare Bildungswärme keine Schwierigkeiten, da man ja nur die Einzelbeträge (Dissoziationswärme, Verdampfungswärme) zu berücksichtigen braucht, die zur Überführung der Elemente aus ihrem Normalzustand in den einatomig gasförmigen Zustand in Rechnung zu stellen sind. In den einfachsten Fällen — CH_4, NH_3 — lassen sich dann die atomaren Bildungswärmen anteilig den Verkettungen einzelner Atome zuordnen, wodurch man zu den *Atombindungsenergien* oder *Einzelvalenzenergien* gelangt. Von den so für eine Anzahl von Valenzenergien erhaltenen Grundwerten ausgehend, können dann unter der Annahme der Additivität aus anderen (größeren) Molekeln weitere Valenzenergien (aus dem Äthan die C-C-Bindung, aus dem Hydrazin die N-N-Bindung usw.) ermittelt werden. Auf diese Weise ist es möglich, bei einer großen Zahl von Molekeln die atomaren Bildungswärmen bis auf wenige Prozente aus Einzelvalenzenergien zusammenzusetzen; die Additivität in den intakten Molekülen ist also in der Regel recht genau erfüllt[2]).

Indessen darf nicht übersehen werden, daß die so zu gewinnenden Einzelvalenzenergien keine bestimmten Aussagen über den als *„Trennungsenergie"* zu bezeichnenden Energiebetrag zulassen, der erforderlich ist, um die Molekel an einer Stelle wirklich in zwei getrennte Bruchstücke aufzuspalten. Das rührt daher, daß die Trennungsenergie einer Bindung zwischen je zwei Atomen keineswegs konstant, sondern in wesentlich höherem Grade von den übrigen vorhandenen Atomen abhängig ist als die Einzelvalenzenergie. Zwar bereitet die Ermittlung der Trennungsenergien erheblich größere Schwierigkeiten, doch ist es in einer Reihe von Fällen gelungen, zu zuverlässigen Ergebnissen zu gelangen (4). Beispielsweise erhält man für die Trennung der C-C-Bindung im Äthan 94, im Acetaldehyd 80, im Glyoxal 74, im Hexachloräthan 66 kcal/mol, während die aus den atomaren Bildungswärmen des CH_4 und C_2H_6 zu ermittelnde Einzelvalenzenergie der C-C-Bindung 58,5 bzw. 81 kcal/mol beträgt[3]). Bei den folgenden Betrachtungen und Berechnungen werden wir uns übrigens auf die sehr viel einfacher zugänglichen Einzelvalenzenergien beschränken können.

Betrachtet man nun speziell die *thermochemischen Bildungswärmen von Fluorverbindungen* im Vergleich zu den übrigen Halogenen, so findet man eine Reihe von Merkwürdigkeiten. Obwohl man dem Fluor als dem atomar kleinsten Vertreter der Halogene[4]) von vornherein einige Besonderheiten zuerkennen muß — die ersten Glieder homologer Reihen fallen ja i. a. aus Extrapolationsregeln heraus —, so überrascht doch die Größe dieser Abweichungen. So liegt z. B. die thermochemische Bildungswärme[5]) des (gasförmigen) Fluorwasserstoffs aus den Elementen mit 64,5 kcal/mol erheblich über den entspechenden Werten der anderen Halogenwasserstoffe: HCl 21,9; HBr 8,3; HJ —5,9 kcal/mol. Die thermochemische Bildungswärme des SiF_4 beträgt mit 360 kcal/mol das 2,5fache derjenigen des $SiCl_4$ (142,5 kcal/mol), und die des CF_4 ist mit 231 kcal/mol[6]) sogar 9mal so groß wie die des (gasförmigen) CCl_4 (25,7 kcal/mol).

Diese Merkwürdigkeiten sind, wie oben bereits angedeutet, zu einem großen Teil zunächst dadurch bedingt, daß die thermochemischen Bildungswärmen keine direkt vergleichbaren Größen darstellen, sondern zunächst auf die atomaren Bildungswärmen und die Einzelvalenzenergien umgerechnet werden müssen.

Die zu dieser Umrechnung benötigten Wärmewerte der uns hier interessierenden Elemente sind nachfolgend zusammengestellt[7]):

Tabelle 1. *Verdampfungs- bzw. Sublimationswärmen L (X) und Dissoziationsenergien (D_0 (X_2) (bei 0° abs.) der Elemente.*

Normalzustand	L (X) kcal/g-Atom	D_0 (X_2) kcal/mol
H_2 g	—	103,2
O_2 g	—	117,2
F_2 g	—	63,3±3(7)
Cl_2 g	—	57,2
Br_2 fl	4,15 (4)	45,4
J_2 f	7,0 (4)	35,6
C f	125,0[8])	—
Si f	80±10[9])	—

2) Ältere Tabellen solcher Einzelvalenzenergien finden sich bei H. G. GRIMM und H. WOLFF (1), (2), neuere bei L. PAULING (3).

3) Je nachdem, ob man für die Sublimationswärme des Kohlenstoffes 125 oder 170 kcal/mol einsetzt, vgl. Fußnote 8.

4) Sofern man nicht den Wasserstoff der Alkalihydride noch den Halogenen zurechnen will.

5) Die Werte sind, falls nichts anderes bemerkt, dem „Taschenbuch für Chemiker und Physiker", J. D'ANS und E. LAX, Springer, Berlin (1943), entnommen.

6) Neubestimmung von H. v. WARTENBERG (5), Fehler: ± 3 kcal.

7) Falls nichts anderes bemerkt, entstammen die Werte einer Zusammenstellung von G. HERZBERG (6).

8) Für die Sublimationswärme des Kohlenstoffs (Normalzustand β-Graphit) werden heute von verschiedenen Autoren die Werte 125 und 170 kcal/mol verfochten. Der erste Wert wurde von G. HERZBERG (8) aus dem Bandenspektrum des CO ermittelt und kürzlich bestätigt (9); eine kritische Diskussion aller sonstigen Versuchsergebnisse über die Sublimationswärme des Kohlenstoffs ließ diesen Wert als den wahrscheinlicheren erkennen (4). Neuerdings machen nun G. J. KYNCH und W. G. PENNEY (10) geltend, daß ihre Berechnungen der angeregten Zustände von Benzol, Butadien und Hexatrien nur mit L (C) = 170 kcal/mol vereinbar wären; A. G. GAYDON und W. G. PENNEY weisen darauf hin (11), daß aus der Dissoziationsenergie des CO+ (bisher zu 7,4 bis 9,8 eV bekannt) und dessen Ionisierungsspannung eine CO-Dissoziationsenergie folgt, die ebenfalls L(C) = 170 kal/mol. ergibt. Die Unterbringung dieser Dissoziationsenergie in den Bandenspektren des CO bereitet im Prinzip keine Schwierigkeiten, da hier nicht weniger als sechs Prädissoziationsgrenzen bekannt sind, die verschiedenen Kombinationen der Anregungszustände der entstehenden C- und O-Atome entsprechen. Eine Entscheidung kann und soll hier natürlich nicht gefällt werden, insbesondere da die betreffenden Originalarbeiten noch nicht zugänglich sind. Trotzdem halten wir den Wert von 125 kcal/mol nach wie vor für den wahrscheinlichsten. In einer kürzlich veröffentlichten Diskussion kommen L. H. LONG und R. G. W. NORRISH (12) betreffs der Sublimationswärme des Kohlenstoffs zu dem gleichen Ergebnis; allerdings glauben die Autoren, dem in organischen Verbindugen vorliegenden vierwertigen C-Atom eine Anregungsenergie von rund 65 kcal zuschreiben zu müssen, so daß die Einzelvalenzenergien hiernach mit L (C) = 190 kcal/mol zu berechnen wären.

9) Fehler vom Verfasser geschätzt.

Hiermit ergibt sich für die atomare Bildungswärme bzw. Dissoziationsenergie der Halogenwasserstoffe folgende Reihe[10]:

$$D_0(HF) = 147{,}5;\ D_0(HCl) = 102{,}0;$$
$$D_0(HBr) = 86{,}5;\ D_0(HJ) = 70{,}9\ \text{kcal/mol},$$

aus der der Fluorwasserstoff zwar noch erheblich, aber nicht mehr so weit herausfällt wie aus der Reihe der thermochemischen Bildungswärmen. Noch stärker ändert sich das Bild bei den Halogenen des Kohlenstoffs und Siliciums. Für die Einzelvalenzenergien berechnet sich mit den oben angegebenen thermochemischen Bildungswärmen und den Daten der Tabelle 1 eine Reihe von Werten:

$$D(C\text{-}F) = 121;\ D(C\text{-}Cl) = 66{,}5;$$
$$D(Si\text{-}F) = 142;\ D(Si\text{-}Cl) = 84\ \text{kcal/mol},$$

die zwar noch die abnorme Steigerung der Bindungsstärke von den Chlor- zu den Fluorverbindungen erkennen läßt, die Steigerung selbst aber doch unter den Faktor 2 herabmindert.

Andererseits treten jedoch bei der Betrachtung der atomaren Bildungswärmen neue Merkwürdigkeiten auf. Die Dissoziationsenergie des F_2 in die Atome ist z. B. mit 63,3 kcal/mol wesentlich geringer, als man aus der Reihe der übrigen Halogene (vgl. Tabelle 1) erwarten würde. Dagegen ergibt sich für das Chlormonofluorid ein Wert von D_0 (ClF) = 72,0 kcal/mol (vgl. S. 137), der sowohl die Dissoziationsenergie des F_2 als auch die des Cl_2 (57,2 kcal/mol) übertrifft.

Den Weg zum Verständnis dieser Merkwürdigkeiten der Valenzenergien des Fluors weist eine einfache Rechnung. Aus der Dissoziationsenergie des Fluorwasserstoffs in die neutralen Atome ergibt sich durch Addition der Ionisierungsarbeit des Wasserstoffs $A_H^+ =$ 312 kcal/mol und Subtraktion der Elektronenaffinität des Fluors $A_F^- = 94$ kcal/mol (13) die *Dissoziationsenergie in die Ionen:*

$$D_0^{\pm}(HF) = 147{,}5 + 312 - 94 = 365{,}5\ \text{kcal/mol}.$$

Den denkbar einfachsten Ansatz zur Berechnung dieser Bindungsenergie bei vorgegebenem Kernabstand bildet das COULOMBsche Attraktionspotential unter Annahme starrer Ionen:

$$D_e^{\pm}(HF)\ Coul. = \frac{e_0^2}{\Delta_0} = \frac{4{,}8^2 \cdot 10^{-20}}{\Delta_0 \cdot 10^{-8}}\ \text{erg/Molekül} = \frac{331}{\Delta_0}\ \text{kcal/mol}. \qquad (1)$$

Nun ist Δ_0 (HF) = 0,92 Å, also

$$D_e^{\pm}(HF)\ Coul. = 361\ \text{kcal/mol}.$$

Hiervon ist noch die Nullpunktsenergie des HF von $\frac{1}{2} h\nu_0 = 6$ kcal/mol abzuziehen, so daß sich ergibt:

$$D_e^{\pm}(HF)\ Coul. = 355\ \text{kcal/mol}.$$

Die Übereinstimmung mit dem experimentellen Wert ist recht gut und zweifellos nicht zufällig[11]. Für die anderen Halogenwasserstoffe liefert diese Berechnungsmethode viel zu geringe Werte (vgl. Fig. 3).

Die Besonderheiten des Fluors in valenzenergetischer Hinsicht beruhen somit offenbar auf elektrostatischen Kraftwirkungen, die bei diesem kleinsten der Halogene in unverhältnismäßig stärkerem Maße auftreten als bei den höheren. Zum näheren Verständnis dieser Besonderheiten empfiehlt es sich daher, an die Alkalihalogenide als die Modellsubstanzen elektrostatischer Valenzbildung anzuknüpfen.

2. Die Alkalihalogenide und die Halogenwasserstoffe.

Charakteristisch für den elektrostatischen Zusammenhalt der festen Alkalihalogenide sind die Gitterenergien, d. h. die Wärmetönungen, die beim Zusammenbau der Gitter aus den gasförmigen, unendlich entfernt gedachten Ionen frei werden. Zu ihrer Ermittlung sind zu den thermochemischen Bildungswärmen der Salze die Sublimations- bzw. Verdampfungswärmen sowie die Dissoziationsenergien der Elemente und die Ionisierungsarbeiten der Kationen zu addieren, die Elektronenaffinitäten der Anionen zu subtrahieren. Die auf diese Weise mit den besten experimentellen Werten erhältlichen Gitterenergien sind in Fig. 1 dargestellt, sie dürften im Durchschnitt auf ± 2 kcal/mol zuverlässig sein. (13)

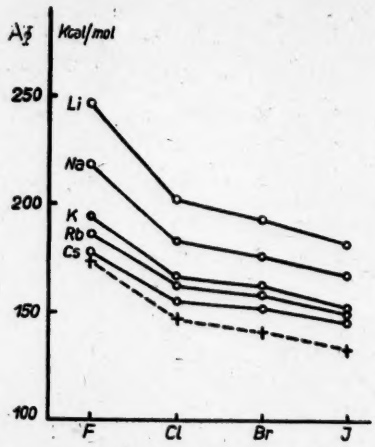


Fig. 1. Gitterenergien der Alkalihalogenide.

Bei der theoretischen Behandlung der Gitterenergien geht man bei vorgegebenen Kernabständen im Prinzip von dem einfachen COULOMBschen Ansatz (1) aus — wobei man über alle Nachbarn eines Ions zu summieren hat — und nimmt aus experimentellen Daten über die Kompressibilität Abstoßungskräfte der Ionen hinzu sowie auf der Polarisierbarkeit der Elektronenhüllen beruhende van-der-WAALSsche Anziehungskräfte (D'spersionskräfte). Das COULOMBsche Attraktionspotential liefert den weitaus überwiegenden Anteil der Gitterenergie, sein Absinken mit $1/\Delta_0$ spiegelt sich wider in der Abnahme der Gitterenergien von links oben nach rechts unten in Fig. 1. Das nahe Heranrücken der Gitterenergien der Rb- und Cs-Salze an die Werte des Kaliums beruht auf den bei diesen großen Ionen recht erheblichen Polarisierbarkeiten und damit van-der-WAALSschen Anziehungskräften. Die untere gestrichelte Kurve der Fig. 1 ist für die Cs-Salze ohne diese Dispersionskräfte berechnet und zeigt damit die Größe dieses Einflusses[12].

In der Darstellung der Fig. 1 fällt besonders auf die unverhältnismäßig starke Abnahme der Gitterenergien von den Fluoriden zu den Chloriden und vom Natrium zum Kalium. Diese Unregelmäßigkeiten im Gang der Gitterenergien werden hervorgerufen durch analoge Unregelmäßigkeiten im Gang der Kernabstände bzw. der aus diesen ermittelten Ionenradien. In Fig. 2 sind die kristallographischen Ionenradien r_K der Halogen- und Alkaliionen (nach GOLDSCHMIDT) aufgetragen, als unterstes Glied der Halogenreihe ist hier das Ion des Hydridwasserstoffs H^- beigefügt[13]. Man erkennt sowohl vom F^- zum Cl^- als auch vom Na^+ zum K^+ ein unverhältnismäßig starkes Ansteigen der Ionen-

[10] Auf 0° abs. umgerechnet.

[11] Von G. BRIEGLEB wurde die Berechnung unter Berücksichtigung der Polarisierbarkeit des F-Ions und der Abstoßungskräfte durchgeführt (14), wobei sich ergab, daß sich die Beiträge dieser beiden Effekte zur Bindungsenergie des HF gegenseitig weitgehend kompensieren.

[12] Dieser wird vom CsCl an durch die höhere Koordinationszahl des hier stabileren CsCl-Gitters noch vergrößert.

[13] Aus Röntgenmessungen erhielten E. ZINTL und A. HARDER (15) nach GOLDSCHMIDT Ionenradien von 1,26 (im LiH) bis 1,54 Å (im CsH) für H^-. In Fig. 2 ist der größte, durch Polarisation am wenigsten beeinflußte Wert eingetragen, den auch H. REMY als Ionenradius des H^- angibt (16).

radien. Das gleiche Verhalten zeigen die aus der Polarisierbarkeit der Ionen nach CLAUSIUS-MOSOTTI:

$$\frac{n^2-1}{n^2+2}\cdot\frac{M}{\rho}=\frac{4}{3}\pi N_1\cdot\alpha \text{ mit } r_p=\alpha^{1/3} \qquad (2)$$

berechneten Ionenradien r_p [14]). Ganz ähnliche Kurvenzüge lassen sich auch aus den magnetischen Suszeptibilitäten der Ionen erhalten, doch sind diese der Übersichtlichkeit wegen nicht eingezeichnet (nur der r_p-Wert des H^- wurde aus dem von W. R. ANGUS (18) angegebenen Wert χ_{mol} $(H^-) = -10^{-5}$ cm³/mol berechnet). Ein analoger außergewöhnlicher Anstieg in den Durchmessern der Elektronenhüllen beim Übergang von der L- zur M-Schale läßt sich auch bei den Edelgasen und den zweiwertigen Anionen der Sauerstoffgruppe feststellen und führt hier zu der bemerkenswerten Stabilität der Oxydgitter gegenüber den Gittern der Sulfide, Selenide und Telluride. Die Ursache dieser Unregelmäßigkeit — die man schätzungsweise erst beim ersten Auftreten der mit 18 Elektronen aufgefüllten Schalen, also beim Übergang M ⟶ N erwarten würde — liegt offenbar im inneren Aufbau der Atome und Ionen begründet.

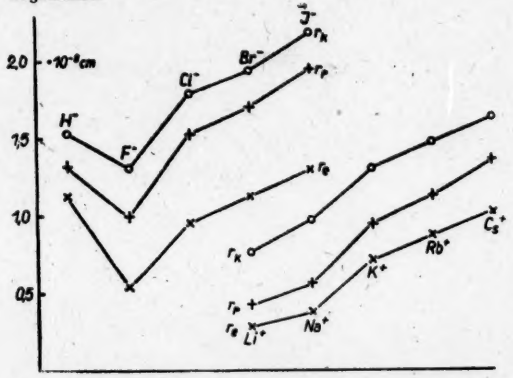


Fig. 2. Für die räumliche Ausdehnung der Elektronenhüllen charakteristische Radien. r_k: Ionenradien nach GOLDSCHMIDT, r_p: aus den Ionenpolarisierbarkeiten mittels Gl. (2) berechnete scheinbare Ionenradien, r_e: mittlerer Kernabstand der 6 jeweils äußersten p-Elektronen nach Gl. (5).

Vor der Besprechung dieser Verhältnisse mögen jedoch zunächst die *Dissoziationsenergien der gasförmigen Alkalihalogenide* betrachtet werden. Und zwar seien hierzu die Trennungsenergien $D_0^{\pm}$ in die Ionen gewählt, die aus den Gitterenergien durch Subtraktion der Sublimationswärmen der Salze erhalten werden und in Fig. 3 dargestellt sind. Die Sublimationswärmen differieren nur wenig untereinander, so daß die Kurvenzüge den in Fig. 1 gezeigten sehr ähnlich werden. An diesen $D_0^{\pm}$-Werten kann aber die Leistungsfähigkeit des einfachen COULOMBschen Ansatzes (1) geprüft werden, da für einige Alkalihalogenide experimentelle Werte der Kernabstände vorliegen (19). Diese liegen ziemlich genau in der Mitte zwischen den Kernabständen im Kristall und den Kernabständen, die man durch Addition der Ionenradien r_p (Gl. (2) und Fig. 2) erhält, und betragen für das Chlorid, Bromid und Jodid des Natriums: 2,51, 2,64 und 2,90 Å; für die entsprechenden Salze des Kaliums: 2,79, 2,94 und 3,23 Å. Die hieraus mit Gl. (1) berechneten $D_0^{\pm}$-Werte sind in Fig. 3 eingetragen, sie stimmen mit den experimentellen Werten fast innerhalb deren Fehlergrenzen überein (die Nullpunktsenergien dürfen hier vernachlässigt werden). Diese Übereinstimmung kann natürlich nur so verstanden werden, daß sich im Ruheabstand der Ionen in den gasförmigen Molekülen die Abstoßungskräfte und die Summe aus Polarisationsanteilen der COULOMB-Attraktion und Dispersionskräften gerade gegenseitig kompensieren. Daß eine erhebliche Polarisation vorhanden ist, zeigen z. B. die Dipolmomente gasförmiger Alkalihalogenide (20), die durchschnittlich nur 35 bis 45 % des aus Elektronenladung und Kernabstand berechneten Maximalwertes betragen.

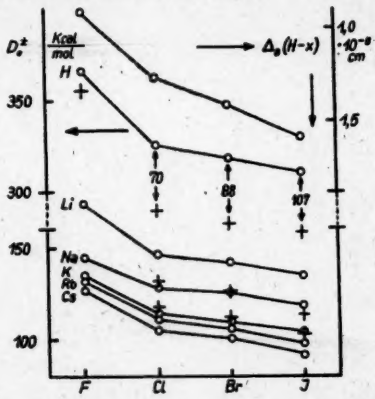


Fig. 3 Dissoziationsenergien der gasförmigen Moleküle in die Ionen und Prüfung des Coulombschen Ansatzes (1) (+ = berechnete Werte) bei den Alkalihalogeniden und den Halogenwasserstoffen.

Immerhin scheint diese Kompensation für die Alkalihalogenide charakteristisch zu sein. Da sie auch beim Fluorwasserstoff annähernd zutrifft (vgl. Fig. 3), folgt, daß die *Bindung im HF-Molekül im wesentlichen den Charakter einer elektrostatischen Alkalihalogenid-Bindung* besitzt. Das Dipolmoment des HF wurde kürzlich von N. B. HANNAY und C. P. SMYTH (21) zu $1{,}91 \cdot 10^{-18}$ e. st. E. gemessen[15]) und beträgt damit 43 % des Maximalwertes $e_0\Delta_0$, so daß der Fluorwasserstoff auch in dieser Beziehung den Alkalihalogeniden entspricht. Für die übrigen Halogenwasserstoffe treffen diese Verhältnisse nicht zu. Bei ihnen liefert, wie Fig. 3 zeigt, die Gl. (1) viel zu geringe Werte, außerdem machen die gemessenen Dipolmomente nur 5 bis 15 % von $e_0\Delta_0$ aus.

3. Die Packungsdichte edelgasähnlicher Elektronenhüllen.

Die im voraufgegangenen Abschnitt geschilderten Verhältnisse bezüglich der Radien und Polarisierbarkeiten der Ionen führen zu dem Schluß, daß in der aufgefüllten L-Schale und speziell beim F^--Ion eine besonders geringe räumliche Ausdehnung der Elektronenwolke und daher eine besonders hohe räumliche Pakkungsdichte der Elektronen im Vergleich mit den höheren M-, N- usw. Schalen vorliegen muß. Zu demselben Ergebnis kamen, insbesondere beim Fluorion, bereits K. FAJANS und G. JOOS (17) auf Grund refraktometrischer Daten. Versucht man, aus allgemeinen Prinzipien heraus zu verstehen, wie die räumliche Ausdehnung der Elektronenwolke einer von äußeren Einflüssen ungestörten Partikel zustandekommt, so wird man, anknüpfend etwa an das BOHRsche Atommodell, auf das Wechselspiel der Attraktionskräfte der positiven Kernladung mit den Zentrifugalkräften der kreisend gedachten Elektronen geführt, wobei beim stufenweisen Aufbau des periodischen Systems von Atom zu Atom sich die Attraktionspotentiale mit den Kernladungszahlen und die kine-

[14]) Die hierzu benutzten Ionenpolarisationen sind einer Arbeit von K. FAJANS und G. JOOS (17) entnommen. Der Wert von 2,5 cm³/mol für F^- wurde von diesen Autoren unter sorgfältiger Berücksichtigung eines umfangreichen Versuchsmaterials durch Interpolation zwischen den übrigen Ionen und den Edelgasen gewonnen und kann daher als verhältnismäßig sicher angesehen werden. Überdies geht in die r_p-Werte nur der dritte Teil des relativen Fehlers der Polarisationswerte ein.

[15]) Der Wert wurde aus der Temperaturabhängigkeit der Dielektrizitätskonstante von HF-Dampf bei verschiedenen Drucken und Temperaturen (305 bis 374°, abs.) erhalten und gilt für einmolekularen Fluorwasserstoff. Die Genauigkeit wird zu 2 % angegeben.

tischen Energien der Elektronen mit den Hauptquantenzahlen sprungweise ändern. Man ist heute noch nicht in der Lage, diesen stufenweisen Aufbau auf rein theoretischer Grundlage berechnen zu können — dazu wäre die wellenmechanische Behandlung von Vielelektronenproblemen erforderlich —, und man kann daher auch noch nicht die eigentliche Ursache der besonders hohen Packungsdichte in der L-Schale angeben. Durchführbar ist lediglich eine Behandlung mit wellenmechanischen Näherungsmethoden, die, ebenfalls auf experimentellen Daten wie Röntgentermen, Ionisierungsspannungen und dergleichen fußend, den obigen Tatbestand auch von dieser Seite her bestätigen und empirisch tiefer fundieren kann.

Für die Wahl des Näherungsverfahrens ist entscheidend, daß man es hier mit einwertigen Alkali- und Halogenionen mit aufgefüllten Edelgasschalen zu tun hat, deren Elektronengrundzustände S-Zustände mit kugelsymmetrischer Ladungsverteilung darstellen. Die räumliche Ausdehnung dieser Elektronenwolken hängt vorwiegend von den in der jeweils äußersten Schale befindlichen Elektronen ab; es möge daher im folgenden der mittlere Radius der Ladungsverteilung dieser Elektronen berechnet werden. Hierfür sind in erster Näherung wieder nur die äußersten sechs p-Elektronen[16]) zu berücksichtigen. Alle weiter innen befindlichen Elektronen können zum zentralsymmetrischen Attraktionsfeld des Kerns gerechnet werden, indem man die Kernladungszahl Z um empirisch zu ermittelnde Beträge — die sog. Abschirmungszahlen — auf den „effektiven" Wert Z* herabsetzt. Die sechs äußeren p-Elektronen bewegen sich dann in diesem zentralsymmetrischen Kombinationsfeld und können untereinander als völlig gleichwertig angesehen, d. h. durch ein und dieselbe Eigenfunktion beschrieben werden. Damit reduziert sich das Problem auf die Betrachtung eines einzelnen dieser sechs Elektronen. Das Quadrat der Eigenfunktion gibt als Funktion des Kernabstandes r die Wahrscheinlichkeit an, das betreffende Elektron in diesem Kernabstand anzutreffen (22). Die Multiplikation dieser Wahrscheinlichkeit mit der Elementarladung liefert — bis auf einen Normierungsfaktor — die räumliche Ladungsverteilung des Elektrons, woraus durch Mittelwertbildung der gesuchte mittlere Kernabstand gewonnen werden kann. Der kugelsymmetrische Charakter der Elektronenwolken legt es nahe, hierfür Eigenfunktionen zu verwenden, die denen des Wasserstoffatoms im Grundzustand analog gebaut sind. Solche wasserstoffähnlichen Eigenfunktionen für Näherungsrechnungen wurden von J. C. SLATER (23) vorgeschlagen und besitzen — quadriert — die einfache Form:

$$\Psi^2\,(r) = (r/a_0)^{2\,(n^*-1)} \cdot e^{\frac{-2z^*}{n^*} \cdot \frac{r}{a_0}}, \qquad (2)$$

worin a_0 den Radius der ersten Bohrschen Elektronenbahn des Wasserstoffatoms (0,53 Å) bedeutet. Z* ist die für das betreffende Elektron effektiv wirksame Kernladungszahl und n* eine effektive Hauptquantenzahl. Beide Größen wurden durch Angleichung an experimentell ermittelte Röntgenterme, Ionisierungsspannungen und Atomsuszeptibilitäten für die verschiedenen Elektronenhüllen empirisch bestimmt (18), (23). Der erste Faktor obiger Beziehung beschreibt das Absinken der Aufenthaltswahrscheinlichkeit des betreffenden Elektrons in Kernnähe in Form einer höheren Parabel, der zweite das Abklingen der Ladungsverteilung nach größeren Kernabständen. Dieses exponentielle Abklingen und damit das Verhältnis Z*/n* bestimmt im wesentlichen die räumliche Ausdehnung der Elektronenwolke nach außen.

Die kinetische und die potentielle Energie der Elektronen werden bei der wellenmechanischen Behandlung des Atoms zu den Energieeigenwerten der verschiedenen Elektronenzustände zusammengefaßt. Diese besitzen im vorliegenden Falle die Gestalt:

$$E_n = -\,\text{const.}\left(\frac{z^*}{n^*}\right) \qquad (3)$$

Bei völliger Loslösung des Elektrons aus dem Atom (Ionisation, $n^* \to \infty$) geht der Energieeigenwert somit gegen Null, seine Größe in einem bestimmten Elektronenzustand — und damit wieder die Größe des Verhältnisses Z*/n* — kann als relatives Maß für den mittleren Kernabstand eines Elektrons in diesem Zustand angesehen werden. Der Einfluß der effektiven Kernladung sucht demnach die Elektronenwolke um den Kern zusammenzuballen, Erhöhung der Hauptquantenzahl zieht sie in radialer Richtung auseinander.

Als numerische Werte der effektiven Kernladungszahlen für die p-Elektronen[16]) in den jeweils äußersten Schalen der Edelgasatome He bis X wurden in der beschriebenen Weise empirisch ermittelt (24): 1,7; 5,85; 6,75; 8,25; 8,25. Bei den Alkaliionen Li+ bis Cs+ sind die Zahlen um je eine Einheit größer, bei den Halogenionen, mit Einschluß des H—-Ions, um je eine Einheit kleiner. Für die den aufeinanderfolgenden Edelgasschalen zugehörigen effektiven Hauptquantenzahlen n* ergaben sich folgende empirische Werte: 1; 2; 3; 3,7; 4,0. Diesen Zahlenreihen sieht man ohne weiteres ein unregelmäßiges Verhalten des Verhältnisses Z*/n* beim Aufsteigen von einer Elektronenschale zur anderen im periodischen System an. Ausgehend von der oben angegebenen Eigenfunktion lassen sich nun die mittleren Radien der Ladungsverteilung eines jeweils in der äußersten Edelgasschale befindlichen p-Elektrons berechnen. Die Mittelwertbildung über den gesamten, kugelsymmetrischen Raum

$$r_e = \int_0^\infty r \cdot 4\,\pi\,r^2\,\Psi^2\,(r)\,dr \Big/ \int_0^\infty 4\,\pi\,r^2\,\Psi^2\,(r)\,dr \qquad (4)$$

ergibt die Beziehung

$$r_e = a_0/2 \cdot n^*/_{z^*} \cdot (2\,n^* + 1), \qquad (5)$$

die mit den obigen numerischen Werten die in Fig. 2 mit r_e bezeichneten Kurvenzüge liefert. Diese geben die bereits im voraufgegangenen Abschnitt aufgezeigten Besonderheiten der Ionenradien r_k und r_p gut wieder und bestätigen insbesondere, daß *das F—-Ion in bezug auf den Raumbedarf der Elektronenhülle ein ausgeprägtes Minimum darstellt.*

Der quantenhafte Aufbau innerhalb des periodischen Systems führt somit gerade bei der Neonkonfiguration zu einer vergleichsweise dichtesten Packung der Außenelektronen. Unter den Anionen dieser Konfiguration nimmt das Fluorion insofern noch eine besondere Stellung ein, als seine effektive Kernladungszahl der des neutralen Neons am nächsten kommt und die Packungsdichte seiner Elektronenhülle daher noch erheblich größer ist als die des O^{2-}-Ions. Entsprechendes gilt natürlich auch für das neutrale Fluoratom. Es kann hiermit z. B. verständlich gemacht werden, weshalb die Elektronenaffinität des Fluors, d. h. die Wärmetönung der Reaktion: $F + \ominus = F^-$, mit 94 kcal/mol keine Besonderheit aufweist, sondern sich den für die übrigen Halogene geltenden Werten (88,2; 80,1; 72,0 kcal/mol von Cl bis J) glatt anschließt. Die Elektronendichte ist im neutralen Fluoratom bereits so groß, daß von dem Attraktionspotential, das die hohe effektive Kernladung auf das die Neonschale auffüllende Elektron ausübt, ein erheblicher Teil zur Überwindung der Abstoßungspotentiale der übrigen Elektronen aufgebraucht wird, so daß für die Elektronenaffinität nur noch ein „normaler" Betrag übrigbleibt. Die ausgezeichneten elektrostatischen Eigenschaften des Fluors beruhen somit keineswegs auf einer besonders großen Elektronenaffinität, sondern vielmehr auf der verhältnismäßig geringen Größe und Pola-

[6]) In der K-Schale natürlich die beiden s-Elektronen.

risierbarkeit der Elektronenhülle, die es befähigt, an Verbindungspartner näher heranzurücken und sie stärker zu polarisieren als irgendein anderes Halogen oder — besser ausgedrückt — als ein aus der Reihe der anderen Halogene extrapoliertes (hypothetisches) Fluor.

Auf der Seite der Kationen nimmt das Na^+ im Prinzip eine ähnliche Stellung ein. Allerdings werden seine ausgezeichneten Eigenschaften i. a. durch das Li^+ überdeckt, und man muß schon auf Feinheiten, wie den Sprung in den Gitterenergien von Na^+ zum K^+ in Fig. 1 achten, um diese Besonderheiten zu erkennen. Beim Fluor dagegen wird dessen ausgezeichnete Stellung durch das Ion des Hydridwasserstoffs H^- mit seiner großen und leicht deformierbaren Elektronenhülle noch besonders unterstrichen. Es ist daher wohl berechtigt, das Fluorion als das stärkste einwertige Anion und das Fluor, wie es z. B. PAULING (25) getan hat, als „Superhalogen" zu bezeichnen[17]).

Die fast ausschließlich elektrostatische Bindung im Fluorwasserstoff wird auf dieser Grundlage dadurch verständlich, daß das Proton in die dichtgepackte Elektronenhülle des F^- nur verhältnismäßig geringfügig eindringen kann und infolge deren besonderer Starrheit die Polarisations- und Deformationseffekte hier — ähnlich wie bei den Alkalihalogeniden — von der gleichen Größenordnung sind wie die Abstoßungskräfte. Es ist natürlich in gewisser Weise willkürlich, wie man die Eindringtiefe des Protons definieren will, da die Elektronenhüllen nach außen keine feste Begrenzung aufweisen. Zum Vergleich der Halogenwasserstoffe untereinander möge hier der Radius r_p gewählt werden, der sich nach Gl. (2) aus deren Polarisierbarkeiten ergibt. Damit erhält man folgende Zusammenstellung (Einheit 10^{-8} cm):

	HF	HCl	HBr	HJ
r_p	0,91	1,38	1,54	1,76
Δ_0 (H—X)	0,92	1,27	1,41	1,60

aus der das immer stärkere Eindringen des Protons in die Elektronenhüllen der höheren Halogene ersichtlich ist. Das bedeutet zunehmenden Anteil homöopolarer Bindung vom HCl zum HJ, so daß für diese Moleküle eine auch nur annähernde Gültigkeit des COULOMBschen Ansatzes (1) nicht erwartet werden kann.

Die Bildung eines festen Alkalihalogenidgitters ist beim Fluorwasserstoff infolge des extremen Radienverhältnisses Anion zu Kation natürlich nicht möglich. Statt dessen treten die bekannten Assoziationserscheinungen auf, der Fluorwasserstoff bildet die stärksten bisher bekannten Wasserstoffbrückenbindungen von durchschnittlich 10± 3 kcal Bindungsstärke (26), (27). Dies ist auf Grund der hier entwickelten Vorstellungen so zu verstehen, daß das Proton im HF durch das geringe Übergreifen der Elektronenwolke des F^--Ions nur wenig abgeschirmt wird. Damit ist die Möglichkeit zu elektrostatischer Anlagerung benachbarter Fluorionen gegeben. Infolge der Polarisation der F^--Ionen ist in diesen Assoziaten — analog dem H_2O-Molekül — eine Winkelung zu erwarten. Die auf diese Weise entstehenden zickzackförmigen Ketten mit einem F-F-Abstand von etwa 2,5 Å und einem F-F-F-Winkel von etwa 140° sind bemerkenswert stabil und unabhängig vom Aggregatzustand; sie wurden sowohl im Dampfzustand (28) als auch im festen HF (29) beobachtet und dürften damit auch in der Flüssigkeit vorliegen. Unter den höheren Halogenwasserstoffen konnte bisher lediglich beim HCl im flüssigen und gelösten Zustand eine schwache Betätigung des Wasserstoffs als Brückenbindungspartner festgestellt werden (30). In Übereinstimmung mit dem hier entworfenen Bild tritt jedoch eine solche Brückenbindung, wenn auch in schwächerem Maße, bei der dem HF analog gebauten OH^--Gruppe auf, sowie, wiederum eine Stufe schwächer, bei dem ebenfalls analogen NH^2.

4. Bindungen der Halogene untereinander.

Die bisher bekannten Trennungsenergien binärer Halogenbindungen zeigt folgende Tabelle:

Tabelle 2. *Trennungsenergien von Halogenmolekeln in die Atome.* (D_0 kcal/mol bei 0° abs.)

F_2 63,3(7)			
ClF 72,0	Cl_2 57,2		
BrF —	BrCl 52,1	Br_2 45,4	
JF —	JCl 49,5	JBr 41,8	J_2 35,5

Mit Ausnahme des F_2 und des ClF sind die Werte der schon erwähnten Zusammenstellung von HERZBERG (6) entnommen. Die thermochemische Bildungswärme des ClF wurde durch direkte Vereinigung der Elemente im Explosionskalorimeter zu 11,6 ± 0,4 kcal/mol neu bestimmt (31). Diese Wärmetönung hat an die Stelle der bisher bekannten von 27,4 kcal/mol ClF (32) zu treten. Hieraus ergibt sich mit den Wärmewerten der Tab. 1 D_0 (ClF) = 72,0 ± 1,5 kcal, wobei die Fehlerspanne von der Unsicherheit des $D_0(F_2)$-Wertes herrührt.

Aus einer Extrapolation der Trennungsenergien der höheren Halogene sollte man für $D_0(F_2)$ einen Wert von etwa 75 kcal/mol erwarten, während man für D_0(ClF) durch Interpolation zwischen den Werten des F_2 und Cl_2 60 kcal/mol schätzen würde. In Wirklichkeit liegt jedoch der F_2-Wert 12 kcal unter, der ClF-Wert 12 kcal über diesen Erwartungswerten. Eine Erklärung dieser Abweichungen läßt sich in folgender Weise entwickeln: In zweiatomigen Molekülen vom Typ A_2 pflegen die Beiträge der COULOMBschen Anziehung zwischen den Elektronenwolken und Kernen der neutralen Atome sowie die Beiträge der ionalen Strukturen A^+A^- zur gesamten Bindungsenergie verhältnismäßig geringfügig zu sein gegenüber den Anteilen der Austauschenergien. Diese werden bestimmt durch die Austauschintegrale, die mit steigender Durchdringung der Elektronenwolken der Einzelpartikeln anwachsen. Infolge der großen Packungsdichte der Elektronenhülle des Fluors ist aber gerade dieses Element zur Ausbildung solcher homöopolaren Bindungskräfte wenig geeignet; insbesondere können, sobald das Fluor mit seinesgleichen in Verbindung tritt und damit zu elektrostatischer Valenzbildung mit Polarisationseffekten und dergl. wenig Gelegenheit ist, nur verhältnismäßig geringe Bindungsstärken entwickelt werden. Beim Zusammentritt mit Chlor dagegen bietet die bereits erheblich „weichere" Elektronenhülle dieses Elements die Möglichkeit für stärkere Überlappungen der Elektroneneigenfunktionen sowie für beträchtliche Beiträge der ionalen Strukturen Cl^+F^- und von Polarisationsanteilen der COULOMBschen Attraktion zur atomaren Bildungswärme. Das ClF dürfte daher als Verbindung mittlerer Polarität (schwächer polar als HF, stärker als HCl) anzusprechen sein. Der

[17]) L. PAULING gebührt das Verdienst, den Zusammenhang der valenzchemischen Eigenschaften des Fluors mit dessen abnorm kleinem Jonenradius und großer „Elektronegativität" sowie der starken Polarität der Fluorverbindungen aufgedeckt zu haben (3), (25). Die vorliegende Arbeit bringt hierzu einige neue Forschungsergebnisse und Fortschritte in quantitativer Hinsicht.

Kernabstand ist zwischen dem des F_2 und dem Mittelwert aus F_2 und Cl_2 zu 1,55±0,1 Å zu erwarten.

Auf derselben Grundlage kann die erhebliche Stabilität des ClF_3-Moleküls verstanden werden. Für die Reaktion $ClF + F_2 = ClF_3$ läßt sich aus unveröffentlichten Gleichgewichtsmessungen eine positive Wärmetönung von 25 kcal/mol abschätzen, womit sich die mittlere Trennungsenergie der ClF-Bindung im ClF_3 auf 53 kcal stellen würde. Die Anlagerung weiterer Fluorpartikeln an bzw. in die Elektronenhülle des bereits mit einem Fluoratom verbundenen Chlors führt (infolge größerer COULOMB- und Austauschenergien im Vergleich zum F_2) zu Bindungsstärken, die die Trennungsenergie des F_2 ohne weiteres überkompensieren. Ein Gegenbeispiel bietet das JCl_3. Obwohl dessen Komponenten im periodischen System erst übernächste Nachbarn sind, zerfällt diese Verbindung im Dampfzustand äußerst leicht in das (homöopolare) JCl und Cl_2. Infolgedessen konnte die Auffassung des JCl_3 als bloße Anlagerungsverbindung des Cl_2 an JCl bisher noch nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden (33). Demgegenüber liegen beim ClF_3 echte Valenzbindungen mit elektropositiv dreiwertigem Chlor vor. Die Gestalt des Moleküls ist höchstwahrscheinlich eine gleichseitige Pyramide mit erheblichem Dipolmoment und Valenzwinkeln, die durch die Polarisation der Elektronenhülle des Chlors und die elektrostatische Abstoßung der Fluorpartikeln untereinander wesentlich mitbestimmt werden. Höhere Chlorfluoride als ClF_3 sind aus sterischen und elektrostatischen Gründen nicht zu erwarten. Dagegen treten bei den übrigen Halogenen mit steigender *Stabilität* solche höheren Fluoride: BrF_3; BrF_5; JF_5; JF_7 auf (34), (35), (36).

Auch hier handelt es sich um hochsymmetrische Moleküle (37) mit Valenzbindungen erster Ordnung. Die entsprechenden niederen Fluoride sind nur als Zwischenstufen zu fassen (BrF) oder völlig unbeständig (JF; JF_3). Dieses Verhalten ist auf Grund der ohne weiteres einleuchtenden Annahme leicht zu verstehen, daß sich die Bindungen mehrerer, zu einem Zentralatom gehörender Fluorpartikeln gegenseitig um so weniger beeinträchtigen, je größer die Elektronenhülle des Zentralatoms ist. Rechnet man bei den niederen Brom- und Jodfluoriden mit keiner Abschwächung neu hinzukommender Br-F- und J-F-Bindungen durch die bereits vorhandenen, so würden die Disproportionierungsreaktionen:

$$3\ BrF = BrF_3 + Br_2;\ 5\ JF = JF_5 + 5/2\ J_2 \text{ usw.}$$

mit dem vollen Betrage der atomaren Bildungswärmen der entstehenden elementaren Halogene exotherm. Diese Wärmetönung ist mehr als ausreichend, um die größere statistische Zustandswahrscheinlichkeit der Monofluoride überzukompensieren und das thermodynamische Gleichgewicht auf die Seite der höheren Fluoride zu legen. Beim ClF ist die gegenseitige Abschwächung bereits recht erheblich: von D_0 (ClF) = 72 auf $^1/_3\, D_0$ (ClF_3) = 53 kcal/mol. Aus diesem Grunde wird

$$3\ ClF = ClF_3 + Cl_2$$

annähernd thermoneutral, das Chlormonofluorid gegenüber der Disproportionierung stabil, das Chlorpentafluorid jedoch gegenüber ClF_3 und F_2 bereits instabil. Beim Brom wird diese Grenze beim BrF_5 erreicht, erst das Jod besitzt eine genügend ausgedehnte und leicht polarisierbare Elektronenhülle, um auch noch die 6. und 7. Fluorpartikel mit stärkerer Bindungsenergie aufzunehmen als deren gegenseitige Bindung im F_2.

Zusammenfassend läßt sich somit feststellen, daß die Besonderheiten im Verhalten des Fluors unter den Halogenen dadurch hervorgerufen werden, daß die enorme Fähigkeit des Fluors zur Bildung starker, vorzugsweise heteropolarer Valenzbindungen *im elementaren Fluor nur latent enthalten* ist und erst in Verbindung mit leichter polarisierbaren Elektronenhüllen voll zur Entfaltung kommt. Auf diese Weise sind zur Aufspaltung des F_2 in die Atome nur verhältnismäßig geringe Energiebeträge erforderlich, wogegen diese Atome bei der Verbindungsbildung mit höheren Halogenen dann recht erhebliche Energiebeträge liefern.

5. Fluor und Sauerstoff.

Die beiden Verbindungen OF_2 und Cl_2O, von denen man die erste sinngemäß als Sauerstoffluorid, die zweite als Chloroxyd anzusprechen hat, besitzen die thermochemischen Bildungswärmen —5,5 und —21 kcal/mol. Hieraus berechnen sich mit den Werten der Tabelle 1 die Valenzenergien: E_v (O—F) = ½ D_0 (OF_2) = 57,5; E_v (Cl—O) = ½ D_0 (Cl_2O) = 47,5 kcal/mol. Dieser Anstieg der Valenzenergien vom Chlor zum Fluor ist durchaus als „normal" zu bezeichnen; jedenfalls kann von keiner besonders hohen Bindungsstärke in der Fluorverbindung die Rede sein. Der Sauerstoff ist im Sinne der Ausführungen des vorangehenden Abschnittes in bezug auf das Fluor als „seinesgleichen" anzusprechen, indem auch bei ihm die besonders dichte Elektronenpackung der L-Schale vorliegt.

Sobald der Sauerstoff allerdings in den negativen Ionenzustand übergeht, macht sich die Verminderung der Kernladung gegenüber dem Fluor in größerer räumlicher Ausdehnung sowie geringerer energetischer Stabilität der Elektronenhülle bereits stark bemerkbar. So ergibt sich aus der Polarisierbarkeit des O^{2-}-Ions[18]) ein scheinbarer Radius der Elektronenwolke von 1,4 Å gegen 1,0 Å beim F^-; der mittlere Radius der Ladungsverteilung der 6 p-Elektronen ergibt sich nach Gl. (5) zu r_θ = 0,69 Å gegenüber 0,56 Å beim F^-. In entsprechender Weise treten in energetischer Beziehung erhebliche Unterschiede auf: während das Fluoratom eine Elektronenaffinität von 94 kcal/mol besitzt, müssen dem einwertigen O^--Ion, das mit seiner Elektronenzahl 9 dem neutralen F entspricht, noch rund 125 kcal/mol zugeführt werden, wenn ein zweites Elektron angelagert werden soll: $O^- + \ominus = O^{2-} - 125 \pm 25$ kcal (über die Herkunft dieser Werte s. u.). Zwar ergibt sich aus den Gittern der Erdalkalioxyde der Ionenradius des O^{2-} nahezu gleich dem des F^- (1,33 Å); doch ist dies auf die komprimierende Wirkung des starken, aus zweiwertigen Ionen aufgebauten Gitterfeldes zurückzuführen (Stabilisierung von außen). Eine Verfestigung der Elektronenhülle des O^{2-} von ähnlicher Größenordnung kann im gasförmigen Zustand erreicht werden durch Erhöhung der positiven Kernladung (Stabilisierung von innen), die statt des Übergangs von O^{2-} zum F^- prinzipiell auch durch Einbau eines Protons möglich ist:

$$O^{2-} + H^+ = OH^- + 500 \pm 25 \text{ kcal.}$$

Das gebildete OH^--Ion bindet sein Elektron mit einer Affinität von 50 kcal/mol, während, wie oben bereits erwähnt, das O^{2-}-Ion das gleiche Elektron mit ca. 125 kcal exotherm abspaltet.

Es ist in diesem Zusammenhange interessant, die Elektronenaffinitäten und Ionisierungsarbeiten der atomaren und hydridartigen Partikel in der Nachbarschaft des Fluors einmal zusammenzustellen. Mit den heute erreichbaren Daten ergibt sich folgendes Bild:

Tabelle 3. *Elektronen-Ablösearbeiten fluorbenachbarter Partikeln in kcal/mol.*

Elektronenzahl								
8	O	314	OH^+	?	F^+	805	Ne^{++}	1470
9	O^-	35±10	OH	≤313	F	402	Ne^+	948
10	O^{2-}	—125±25	OH^-	50	F^-	94	Ne	497
Kernladungszahl	8		8+1		9		10	

[18]) Nach K. FAJANS und G. JOOS (17) beträgt die Ionenpolarisation der O^{2-}-Ions im Gaszustande 6,95 cm³/mol.

Hieraus geht einmal die bekannte energetische Stabilisierung der Elektronenhülle mit steigender Kernladung hervor, zum anderen ist aus den Reihen O—OH — F und O^{2-} — OH^-—F^- ersichtlich, daß der Einbau eines Protons der Wirkung einer Erhöhung der Kernladungszahl um eine Einheit nicht viel nachsteht. Zwischen dem Fluor und Neon mußte die Spalte der HF-Partikeln leider weggelassen werden, da hierüber noch keine Daten vorliegen.

Die oben für die negativen *Sauerstoffionen* angegebenen Werte wurden in folgender Weise gewonnen. Die Näherungsbeziehung (3) für die Energieeigenwerte:

$$E_n = - \text{const.} \left(\frac{Z - \Delta Z}{n^*}\right)^2$$

kann in der Form:

$$-E_n = a Z^2 - b Z + c$$

geschrieben werden und stellt als solche eine bekannte Interpolationsformel für Elektronenterme und Ionisierungsspannungen dar. Da in die Koeffizienten a, b, c die Größen ΔZ und n^* eingehen, ist die Formel für solche Partikelreihen anwendbar, die bei verschiedener Kernladung die gleiche Zahl und Konfiguration von Elektronen aufweisen. Eine solche Reihe ist z. B. O^-; F; Ne^+; Na^{++} usw., oder auch O^{2-}; F^-; Ne; Na^+ usw. Da in jeder dieser Reihen die Ionisierungsspannungen bezw. Elektronenaffinitäten bis auf die ersten Glieder bekannt sind, lassen sich hieraus zwei Wertetripel a, b, c ermitteln, mit deren Hilfe die Ablösearbeiten des O^- und des O^{2-} extrapoliert werden können. Diese Extrapolationen sind naturgemäß nicht sehr genau, da geringprozentige Differenzen in den recht hohen Ionisierungsspannungen der mehrwertigen Ionen das Ergebnis bereits stark beeinflussen können. Mit neueren Werten für die Ionisierungsspannungen[19]) liefert obige Extrapolationsmethode im Mittel:

$1{,}5 \pm 0{,}5$ eV = 35 ± 10 kcal/mol für die Elektronenablösearbeit des O^-.

$-5{,}5 \pm 1$ eV = -125 ± 25 kcal/mol für die Elektronenablösearbeit des O^{2-}.

Mit einer etwas andersartigen Extrapolationsmethode erhielten H. HELLMANN und M. MAMOTENKO (39) für O^- den Wert 1,55 eV[20]). Experimentell ist diese Größe bisher nur indirekt bei Elektronenstoßversuchen zugänglich gewesen; Werte von $2 \pm 0{,}2$ eV scheinen hier mit den Ergebnissen am besten verträglich zu sein (42), (43).

Die gesamte Elektronenaffinität des Sauerstoffs bei Anlagerung beider Elektronen schätzen MAYER und MALTBIE (44) aus den Gitterenergien von Erdalkalioxyden zu -150 ± 50 kcal/mol, HELLMANN und MAMOTENKO (39) erhalten hierfür durch eine sehr unsichere Extrapolation (über das O^--Ion hinweg zum O^{2-}) $-7{,}94$ eV = -183 kcal/mol. Die oben angegebene Methode, die erstmalig das F^--Ion in die Extrapolationsreihe einbezieht, liefert statt dessen -90 ± 30 kcal/mol.

Für die Ablösearbeit eines Elektrons aus dem neutralen *OH-Molekül* folgt aus massenspektrometrischen Untersuchungen der Ionisierungs- und Dissoziationsprodukte von Wasserdampf (45) ein Maximalwert von 13,6 eV = 313 kcal/mol. Die Elektronenaffinität wurde von J. GOUBEAU und W. KLEMM (46) aus der Gitterenergie der Alkalihydroxyde zu 48 kcal/mol berechnet, ein Wert, der mit der neuen Bildungswärme des OH-Moleküls nach R. D. DWYER (47) [D_0 (OH) = $101{,}3 \pm 0{,}5$ kcal/mol] auf 50 kcal/mol rückt und auf etwa $\pm$ 3 kcal sicher sein dürfte.

Insgesamt folgt aus den Zahlen der Tabelle 3 eine verhältnismäßig weitgehende Ähnlichkeit zwischen den Elektronenhüllen der OH-Partikeln und denen der entsprechenden Fluorpartikeln. Eine Folge dieses homologen Charakters ist die bekannte Tatsache, daß in Silikaten OH^--Ionen in beliebiger Weise durch F^--Ionen austauschbar sind. Gleichzeitig stellt die räumliche Verteilung der positiven Ladungen in den OH-Partikeln die Analogie zum HF her. Die Dissoziationsenergie des neutralen OH in die Ionen beträgt mit D_0 (OH) = 101,3 kcal/mol und der in Tabelle 3 angegebenen Elektronenaffinität des Sauerstoffatoms: $D_0^{\pm}$ (OH) = 378 ± 10 kcal/mol, ist also noch etwas größer als die des HF, während sich mittels Gl. (1) nach COULOMB unter Abzug der Nullpunktsenergie $D_0^{\pm}$ (OH) *Coul* = 336 kcal/mol ergeben (Kernabstand O—H = 0,97 Å). Die Differenz von ca. 40 kcal läßt die OH-Bindung in bezug auf ihre Polarität zwischen die HF- und die HCl-Bindung einordnen (vgl. Fig. 3), die gleiche Abstufung ergeben die Dipolmomente. Im Sinne dieser Abstufung sind die von der OH-Gruppe in Wasser und Alkohol ausgehenden Wasserstoffbrückenbindungen schwächer (etwa $^1/_2$ bis $^2/_3$) als diejenigen des Fluorwasserstoffs. Ihre Deutung dürfte jedoch, ebenso wie dort, auf rein elektrostatischer Grundlage möglich sein.

In wässriger Flußsäure, die im Gegensatz zu den höheren Halogenwasserstoffsäuren bekanntlich nur wenig dissoziiert, findet ein Wettbewerb um die Protonen statt zwischen dem F^--Ion und dem Sauerstoff des Wassers, der das Proton als drittes zur Bildung von H_3O^+ an seine Elektronenhülle anlagern möchte. Der Sieger in diesem Kampf kann nicht zweifelhaft sein. Daß trotzdem eine geringe Dissoziation eintritt, liegt an der Überzahl der Wassermoleküle (Hydratisierung des entstehenden F^-) und daran, daß sich schließlich zwei F^--Ionen in den Besitz eines Protons teilen und das symmetrische Fluoronium-Ion HF_2^- bilden. Daß die Fluorionen leichter als die anderen Halogenionen mit H^+ zu HF_2^- zusammentreten, erklärt bereits REMY (48) durch die „wesentlich größere Bildungsenergie, die dem Fluorokomplex infolge des geringen Radius des Fluor-Ions im Vergleich zu dem der anderen Halogenionen zukommen muß".

6. Die Tetraederhalogenide des Kohlenstoffs und Siliciums.

Die folgende Fig. 4 zeigt die aus den thermochemischen Bildungswärmen mit den Daten der Tabelle 1 berechneten Valenzenergien der Einzelbindungen [z. B. E_v (C-F) = $\frac{1}{4}$ D (CF_4)] in den kugelsymmetrischen Halogeniden des Kohlenstoffs und Siliciums[21]). Außerdem sind die Valenzenergien der entsprechenden Wasserstoffverbindungen sowie die Kernabstände eingetragen. Das Bild ist durchaus ähnlich dem bei den Halogenwasserstoffen erhaltenen (oberer Teil der Fig. 3). Daher entspricht auch die hier zu gebende Erklärung für die hervorragende Stärke der Fluorverbindungen in großen Zügen den dort geschilderten Verhältnissen. Das Fluor ist infolge seiner besonders dicht gepackten Elektronenhülle imstande, näher an das Zentralatom heranzurücken und stärkere elektrostatische Bindungskräfte zu entwickeln, als sich aus einer Extrapolation der höheren Halogene ergeben würde. Das Ausmaß dieser elektrostatischen Zusatzenergien läßt sich grob abschätzen durch Vergleich mit den entsprechenden Wasserstoffbindungen, die im wesentlichen als homöopolar anzusprechen sind.

---

[19]) Es wurden hier einmal Werte aus den Tabellen von G. JOOS und Mitarbeitern für die Neuauflage des Landolt-Börnstein benutzt (Korrekturexemplar), zum andern wurde die Extrapolation auch mit Werten von E. LISITZEN (38) durchgeführt. Die Differenzen beider Wertereihen führen zu den im folgenden angegebenen Fehlergrenzen. Die Elektronenaffinität des F wurde in beiden Fällen zu 94 kcal/mol = 4,08 eV eingesetzt.

[20]) Mit älteren numerischen Daten und z. T. anderen Extrapolationsmethoden erhielten R. F. BACHER und S. GOUDSMIT (40) hierfür 1 eV; G. GLOCKLER 3,80 eV (41).

[21]) Die Unsicherheit der Sublimationswärme des Siliciums (vgl. Tab. 1) geht auf diese Weise nur mit einem Viertel ($\pm$ 2,5 kcal/mol) in die Valenzenergien ein.

Diese Deutung steht übrigens auch im Einklang mit den an gemischt halogenierten Methanen gemessenen Dipolmomenten. So besitzt das $CHFCl_2$ ein Dipolmoment von 1,29, das CHF_2Cl ein solches von $1{,}40 \cdot 10^{-18}$ e. st. E. Zwei C-F-Bindungen vermögen daher trotz ihres geringeren Kernabstandes das elektrische Moment einer C-Cl-Bindung stärker überzukompensieren als zwei C-Cl-Bindungen eine C-F-Bindung. So hat auch das an CF_2Cl_2 gemessene Dipolmoment von $0{,}5 \cdot 10^{-18}$ e. st. E. seinen negativen Ladungsschwerpunkt zweifellos auf der Seite des Fluors[22]).

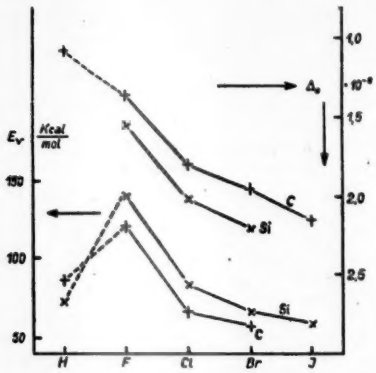


Fig. 4. Einzelvalenzenergien und Kernabstände der tetraedersymmetrischen Halogenide des Kohlenstoffs und Siliciums (Sublimationswärme des Kohlenstoffs zu 125 kcal/mol angesetzt).

Beim Übergang vom Kohlenstoff zum Silicium nehmen die Valenzenergien der Halogenverbindungen — im Gegensatz zu den Wasserstoffverbindungen — trotz wachsender Kernabstände sämtlich zu[23]). Infolge der geringeren Ionisationsenergien und der größeren Polarisierbarkeit des Siliciums gegenüber dem Kohlenstoff sind hier die elektrostatischen Anteile der Bindungsenergien in allen Halogenbindungen größer. Dies zeigt sich ja auch in der bekannten größeren Neigung der Siliciumhalogenide zu hydrolytischer Spaltung.

Bei den höheren Gliedern der vierten Hauptgruppe: Ge; Sn; Pb werden sowohl die homöopolaren Wasserstoffverbindungen als auch die stärker heteropolaren Tetrahalogenide in steigendem Maße unbeständiger, doch bildet auch hier das Fluor (GeF_4; SnF_4) die verhältnismäßig stabilsten Bindungen. Da hier jedoch thermochemische Bildungswärmen nur sehr spärlich vorliegen und die Verdampfungswärmen von Ge und Sn recht unsicher sind, können über diese Verbindungen vorerst keine quantitativen Angaben gemacht werden.

Göttingen, Institut für physikalische Chemie der Universität.

Eingegangen am 8. Juli 1946.

[22]) Dipolmomente nach O. FUCHS und K. L. WOLF (49).

[23]) Dies gilt allerdings nur, wenn man, wie in Fig. 4 geschehen, die Sublimationswärme des Kohlenstoffs zu 125 kcal/mol einsetzt. Verwendet man hierfür den Wert 170 kcal/mol (vgl. Fußnote 8), so rückt die Valenzenergiekurve des C um 11 kcal zu höheren Werten, und die obige Aussage gilt nur noch für die C-F-Bindung, während die C-Cl- und C-Br-Bindung den entsprechenden Bindungen des Si energetisch gleich werden.

Literatur.

1. H. G. GRIMM u. H. WOLFF, Ztsch. f. angew. Chemie, **48**, 133 (1935). — 2. Dsbn., LANDOLT-BÖRNSTEIN, III. Erg.-Bd. **3**, S. 2867. — 3. L. PAULING, „The Nature of the Chemical Bond", Ithaca, New York (1939). — 4. E. WICKE, Ergeb. d. exakt. Naturwiss. **20**, 1 (1942). — 5. H. von WARTENBERG, Nachr. Ges. Wissensch. Göttingen (1946) (erscheint demnächst). — 6. G. HERZBERG, „Molekülspektren und Molekülstruktur", Steinkopff (1939). — 7. G. M. MURPHY u. J. E. VANCE, J. chem. Physics, **7**, 806 (1939). — 8. G. HERZBERG, Chem. Rev. **20**, 145 (1937). — 9. Dsbe., J. chem. Physics, **10**, 306 (1942). — 10. G. J. KYNCH u. W. G. PENNEY, Proc. Roy. Soc. London, **A 179**, 214 (1941). — 11. A. G. GAYDON u. H. G. PENNEY, Nature **150**, 406 (1942). — 12. L. H. LONG u. R. G. W. NORRISH, Nature **152**, 237 (1946). — 13. A. EUCKEN, „Lehrbuch der Chemischen Physik", Bd. **II**, 2 (1944), S. 552 f. — 14. G. BRIEGLEB, Z. physik. Chem. (B) **51**, 9 (1941). — 15. E. ZINTL u. A. HARDER, Z. physik. Chem. (B) **14**, 265 (1931). — 16. H. REMY, „Lehrb. d. anorgan. Chemie" Bd. **I** (1940), S. 163. — 17. K. FAJANS u. G. JOOS, Z. f. Physik **23**, 1 (1924). — 18. W. R. ANGUS, Proc. Roy. Soc. London, (A) **136**, 569 (1932). — 19. L. R. MAXWELL, S. H. HENDRICKS u. V. M. MOSLEY, Physik. Rev. **52**, 968 (1937). — 20. H. SCHEFFERS, Physikal. Ztschr. **35**, 425 (1934). — 21. N. B. HANNAY u. C. P. SMITH, J. amer. Chem. Soc. **68**, 171 (1946). — 22. A. EUCKEN, „Grundriß d. physikal. Chemie", **6**. Aufl. (1944), S. 666 f. — 23. J. C. SLATER, Physic. Rev. (2) **36**, 57 (1930). — 24. A. EUCKEN, „Lehrbuch der Chemischen Physik" Bd. **I** (1938), S. 245 f. — 25. L. PAULING, J. amer. Chem. Soc. **54**, 988, 3582 (1932). — 26. J. KREUZER, Z. physik. Chemie (B) **53**, 213 (1943). — 27. G. BRIEGLER, Z. physik. Chem. (B) **53**, 225 (1943). — 26. S. H. BOUER, J. Y. BEACH u. J. H. SIMONS, J. Amer. Chem. Soc. **61**, 19 (1939). — 29. P. GÜNTHER, K. HOLM u. H. STRANZ, Z. physik. Chem. (B) **43**, 229 (1939). — 30. R. FREYMANN, J. chem. Physics **6**, 498 (1938). W. GORDY u. P. C. MARTIN, ebd. **7**, 99 (1939). — 31. E. WICKE, Nachr. Ges. Wissensch. Göttingen (1946) (erscheint demnächst). — 32. O. RUFF u. W. MENZEL, Z. anorg. allg. Chem. **198**, 375 (1931). — 33. H. REMY, „Lehrb. d. anorg. Chemie" Bd. I (1940), S. 729. — 34. O. RUFF u. R. KEIM, Z. anorg. Chem. **193**, 176 (1930), (JF_7). — 35. O. RUFF u. W. MENZEL, Z. anorg. allg. Chem. **202**, 49 (1931) (BrF_5). — 36. O. RUFF u. A. BRAIDA, Z. anorg. allg. Chem. **206**, 63 (1932); **214**, 81 (1933) (BrF u. BrF_3). — 37. H. BRAUNE u. B. PINNOW, Z. physik. Chem. (B) **25**, 239 (1937). — 38. E. LISITZEN, Soc. Sci. fenn., Comment. physico-math. **10**, H 4 (1938)., tabelliert in „Taschenbuch für Chemiker und Physiker" (1943), S. 113 f. — 39. H. HELLMANN u. M. MAMOTENKO, Acta physiochim. URSS **7**, 127 (1937). — 40. R. F. BACHER u. S. GOUDSMIT, Phys. Rev. **46**, 948 (1934). — 41. G. GLOCKLER, Phys. Rev. **46**, 111 (1934). — 42. W. W. LOZIER, Phys. Rev. **46**, 268 (1934). — 43. H. D. HAGSTRUM u. J. T. TATE, Phys. Rev. **55**, 1136 (1939). — 44. J. E. MAYER u. M. M. MALTBIE, Ztschr. f. Physik, **75**, 748 (1932). — 45. M. M. MANN, A. HASTRULID u. J. T. TATE, Phys. Rev. **58**, 340 (1940). — 46. J. GOUBEAU u. W. KLEMM, Z. physik. Chem. (B) **36**, 362 (1937). — 47. R. D. DWYER, Phys. Rev. **59**, 928 (1941). — 48. H. REMY „Lehrb. d. anorgan. Chemie" Bd. I (1940), S. 699. — 49. O. FUCHS u. K. L. WOLF, Hand- u. Jahrb. d. Chem. Physik, Akadem. Verlagsges. (1935). Band 6/I B. Anhang.

Erdmagnetismus zu Gauß' Zeiten und heute.[1])

Von JULIUS BARTELS.

1. Überall auf der Erde wirkt auf jeden Magneten eine richtende Kraft, die von Ort zu Ort verschieden ist und sich mit der Zeit ändert. Um diese Erscheinung des Erdmagnetismus überblicken zu können[2]), denkt man sich zunächst für jeden Ort Durchschnitte über ein ganzes Jahr gebildet. Die Verteilung dieser durchschnittlichen Kräfte über die Erde, das sogenannte *permanente Magnetfeld*, läßt erkennen, daß die Erde selbst ein großer Magnet ist. WILLIAM GILBERT begründete diese Ansicht im Jahre 1600 in einem großen, Epoche machenden Werk, und GAUSS[3]) bewies sie exakt in seiner *„Allgemeinen Theorie des Erdmagnetismus"*, ohne jedoch näheres über die physikalischen Ursachen und ihren Sitz im Erdkörper aussagen zu können. Und so steht es leider auch noch heute: Niemand kann befriedigend erklären, warum die Erde ein Magnet ist. Da wir nichts über die erdmagnetischen Eigenschaften anderer Planeten oder Monde erfahren, können wir nicht einmal beurteilen, ob es sich beim Erdmagnetismus um eine so fundamentale Erscheinung handelt wie bei der Gravitation.

GAUSS veranschaulichte die Stärke des erdmagnetischen Moments durch die Angabe, daß in jedem Kubikmeter des Erdkörpers 8 voll magnetisierte einpfündige Magnetstäbe parallel zur magnetischen Erdachse stecken müßten. Da sich aber der Ferromagnetismus verliert bei den Temperaturen des Erdinnern — schon unterhalb 20 km — so versagt dieses schematische Bild, denn die kühlere Kruste allein enthält nicht genügend ferromagnetisches Gestein. Auch GAUSS spricht schon von der Möglichkeit galvanischer Ströme als Ursachen, sie

[1]) Erweiterte Antrittsvorlesung in Göttingen 13. Juli 1946.

[2]) Ausführliche Darstellungen: (1), (2).

[3]) Über GAUSS' erdmagnetische Arbeiten (Werke, Bd. V) vergl. (3), (4), (5).

müßten von West nach Ost in der Erdrinde fließen, mit der Gesamtstromstärke 1000 Millionen Ampere.

Die gesamte potentielle Energie des permanenten erdmagnetischen Feldes beträgt rund ⅓ Billion Kilowattstunden, ist also im Vergleich zu anderen geophysikalischen Erscheinungen gering. Die Sonnenwärme liefert der Erde diese Energie in 6 Sekunden; sie entspricht dem Heizwert von 40 Millionen Tonnen Steinkohle — weniger als Deutschlands jährliche Kohlenförderung. Ein anderer Vergleich: Würde die erdmagnetische Energie erst jetzt irgendwie neu erzeugt werden aus dem Vorrat an Bewegungsenergie in der Erddrehung, so würde diese nur unmerklich gebremst, der Tag würde um nur eine viermillionstel Sekunde verlängert.

2. Wenn man die erdmagnetische Kraft in Göttingen im Jahre 1832, als GAUSS sie in absolutem Maß bestimmte, vergleicht mit den heutigen Werten, so fällt vor allem eine starke Änderung der Deklination auf: Diese Abweichung der Kompaßrichtung von astronomisch Nord betrug 1832 18,8° nach Westen, heute nur noch 4,7°, also volle 14° weniger als vor 114 Jahren! Diese allmähliche Änderung der Richtung und der Intensität vollzieht sich in Jahrhunderten und heißt deshalb *Säkular-Variation*; sie hat ihren Sitz im wesentlichen ebenfalls im Erdinnern. Trotz des hohen Alters der Erde — mindestens 1000 Millionen Jahre — ändert sich ihr Magnetismus also noch immer erheblich.

Die Bestimmung der Säkular-Variation — aus der Differenz der Messungen am gleichen Ort nach einigen Jahren — erfordert hohe absolute Genauigkeit der Einzel-Beobachtungen. Diese ist auf See, wegen der Schiffsschwankungen und des Schiffseisens, schwer zu erzielen. Wir verdanken unsere Kenntnis der erdmagnetischen Verhältnisse auf den Ozeanen vor allem den eisenfreien Schiffen *„Galilee"* und *„Carnegie"* (der Carnegie-Institution, Washington) die 1905—1929 alle Weltmeere befuhren. Zur Fortsetzung dieser Arbeiten baute die britische Admiralität ein Forschungsschiff „Research", das 1939 in Dienst gestellt werden sollte.

Die Technik magnetischer Messungen auf See läßt sich dadurch vervollkommnen, daß man elektrisch anzeigende oder photographisch registrierende Meßinstrumente in Tauchbojen an schlaffen Leinen in ruhigere Tiefen versenkt[4]). S. CHAPMAN (7) schlägt magnetische Vermessungen im Flugzeug vor; das Analogon zur Tauchboje wäre dabei ein angehängtes eisenfreies Segelflugzeug als Träger der Instrumente.

Die Säkular-Variation ist für ein Gebiet wie Deutschland recht gleichmäßig; aber das ist nur 1/1000 der Erdoberfläche, und wenn man die ganze Erde überblickt, so bleibt das Phänomen nicht einheitlich, nicht planetarisch — etwa in dem Sinne, daß sich die magnetische Erdachse verlagerte, oder das magnetische Moment der Erde als Ganzes zu- oder abnähme, — vielmehr besteht die Säkular-Variation aus mehreren regionalen Einzelvorgängen, die innerhalb einiger Jahrhunderte die geographische Verteilung des erdmagnetischen Feldes erheblich umgestalten. Analytisch kann man nach VESTINE (8) die gegenwärtige Säkular-Variation beschreiben durch die Entstehung von 6 flächenhaften Magnet-Polen (oder — physikalisch sinnvoller — von 6 elektrischen Stromkreisen, deren Stromstärke sich jährlich um mehrere 100 000 Ampere ändert); so entsteht ein nordmagnetischer, also abstoßender Pol mit dem Zentrum unter den Kapverdischen Inseln, und ein südmagnetischer, also anziehender Pol entsteht unter Mittelasien. In Europa, das zwischen diesen beiden entstehenden Polen liegt, schwenkt das Nordende der Kompaßnadel demgemäß seit über 100 Jahren dauernd nach Osten zu.

Die Unabhängigkeit der Säkular-Variation von oberflächlichen geologischen Verschiedenheiten deutet auf großräumige Vorgänge (Strömungen?) in der tieferen Erdkruste. Da man aber über diese physikalischen Ursachen der Säkular-Variation bisher ebensowenig weiß, wie über das ganze innere Erdfeld, — eine befriedigende Theorie müßte beide zugleich erklären, — so sollen diese Andeutungen hier genügen, um Erfreulicherem Raum zu geben.

3. Da sind zunächst die *magnetischen Wirkungen von Gesteinen*, die man sehr gut beobachten, deuten und praktisch verwerten kann. Schichten im Untergrund, die Magneteisenstein enthalten, kann man durch viele Hunderte von Metern unmagnetischen Gesteins oder Wasser hindurch in ihren magnetischen Wirkungen an der Oberfläche erkennen, umgrenzen und ihrer Tiefenlage nach abschätzen. Deshalb unterstützt man die geologischen Aufnahmen durch engmaschige magnetische Vermessungen (9) (10). So haben sich schon wertvolle Aufschlüsse über die Struktur des Untergrundes ergeben, auch dort, wo die Gesteine sich weniger stark durch ihre Magnetisierung unterscheiden. Hier liegen für die Zusammenarbeit von Geologen, Mineralogen und Geophysikern noch dankbare Aufgaben für Arbeiten im Gelände und im Laboratorium, z. B. hinsichtlich der fossilen Magnetisierung in den jährlichen Ablagerungen nach-eiszeitlicher Seen; in diesen Bänder-Tonen oder Warwen hat sich das prähistorische Magnetfeld mit seiner Säkular-Variation versteinert erhalten[5]).

4. Das fruchtbarste Gebiet der erdmagnetischen Forschung sind aber gegenwärtig die *schnelleren zeitlichen Variationen*. Ebenso wie bei den absoluten Messungen verdanken wir GAUSS auch für diese *„comparativen"* Beobachtungen die Instrumente: Er konstruierte Magnetometer, das Unifilar — ein Magnet, der an *einem* dünnen Faden hängt und die Deklination anzeigt — und das Bifilar — ein Magnet an *zwei* starken Fäden hängend quer zur Kompaßrichtung gestellt, zur Anzeige der Intensitäts-Variationen. Diese Variometer genügen noch heute in den Observatorien den hohen Anforderungen an die Genauigkeit erdmagnetischer Beobachtungen, etwa 1 in 100 000 Teilen des Ganzen; jedoch ist man von den großen Magneten — Gauß und Weber bevorzugten 25 Pfund schwere Stäbe — zu kleineren Dimensionen übergegangen: LA COUR (11) nahm winzige Nadeln von 0,025 Gramm.

GAUSS begann erst 1832, im Alter von 55 Jahren, auf der Höhe seines Ruhmes als erster Mathematiker seiner Zeit, sich ernstlich erdmagnetischen Fragen zu widmen, angeregt durch den Gedankenaustausch mit seinem nur halb so alten Freunde WILHELM WEBER, der dem Physikalischen Kabinett vorstand, und durch das Drängen ALEXANDER VON HUMBOLDTs, der damals an GAUSS schrieb, daß *„der Erdmagnetismus bei ihm eine seit 40 Jahren eingewurzelte Krankheit"* sei. GAUSS war damals zwei Jahre lang, nach harten Schicksalsschlägen, wenig zu wissenschaftlichen Arbeiten aufgelegt gewesen; jetzt fand er wieder Freude am Beobachten, und begeistert berichtet er in Briefen an seine Freunde von seinen magnetischen Untersuchungen:

„Ich komme fast täglich noch auf eine neue Idee . . . Die tägliche Variation kann ich schon fast von Minute zu Minute verfolgen und 2 bis 3 Bogen-Sekunden sicher sichtbar machen . . . Alle Beobachtungen dieser Art gehören übrigens zu den reizendsten, die ich kenne, sie übertreffen in dieser Beziehung die astronomischen, denen sie an Präzision fast gleichkommen . . . Ich würde selbst diese Schärfe für unglaublich gehalten

[4]) FR. ERRULAT (6) hat die ersten erdmagnetischen Tauchgeräte konstruiert und praktisch erprobt, unter Verwendung instrumenteller Arbeiten von G. FANSELAU, nachdem Verf. (2, S. 429) diesen Ausweg angedeutet hatte.

[5]) A. G. MCNISH und E. A. JOHNSON, 1939, am gleichen Ort wie (8).

haben, wenn ich sie nicht seit Monaten täglich vor mir sähe . . . Ich kenne nichts Interessanteres von praktischen Geschäften als diese magnetischen Beobachtungen. Meine früher geäußerten Erwartungen realisieren sich vollkommen. Ich meine den absoluten Magnetismus mit derselben Schärfe bestimmen zu können, wie man früher nur comparative Bestimmungen gemacht hat . . . Es ist eine wahre Lust, (mit den neuen Instrumenten) zu beobachten . . ."

Er spricht von dem *„wunderbaren Spiel in den stets wechselnden Veränderungen der Deklination,"* . . . usw. Inmitten dieser wissenschaftlichen Arbeit jene berühmte praktische Anwendung des Magnetometers: *„Ich weiß nicht, ob ich Ihnen schon früher von einer großartigen Vorrichtung, die wir hier gemacht haben, geschrieben habe. Es ist eine galvanische Kette zwischen der Sternwarte und dem Physikalischen Kabinett durch Drähte in der Luft über die Häuser weg oben zum Johannisthurm und so wieder herabgezogen . . . Wir haben diese Vorrichtung bereits zu telegraphischen Versuchen gebraucht, die sehr gut mit ganzen Worten oder kleinen Phrasen gelungen sind. Diese Art zu telegraphieren hat das Angenehme, daß sie von Wetter- und Tageszeit ganz unabhängig ist . . . Ich bin überzeugt, daß auf diese Weise . . . auf einen Schlag von Göttingen nach Hannover oder von Hannover nach Bremen telegraphiert werden könnte."*

In der Sternwarte waren die erdmagnetischen Arbeiten durch Eisenkonstruktionen gestört; GAUSS baute deshalb 1833 ein *„schickliches Lokal"* dafür, das *Magnetische Observatorium;* es steht jetzt im Garten des Geophysikalischen Instituts auf dem Hainberg. Schon lange vor GAUSS hatte man bemerkt, daß Richtung und Stärke des Erdmagnetismus dauernd schwanken, an manchen Tagen in regelmäßigen täglichen Gängen, zu Zeiten aber auch in stärkerer, unregelmäßiger Weise. In der Deklination erreicht die regelmäßige sonnentägige Variation in Göttingen im Sommer etwa ein viertel Grad; bei starken zeitlichen Störungen, den magnetischen Stürmen, sind am 16. April 1938 (vgl. Fig. 7) in Deutschland über 5 Grad Schwankung innerhalb 2 Stunden beobachtet. CELSIUS und HJORTER hatten 100 Jahre vor GAUSS bemerkt, daß Nordlichter von starken unregelmäßigen Schwankungen der Kompaßnadel begleitet sind, gleichzeitig an so weit entfernten Orten wie Upsala und London. Man hatte auch schon erkannt, daß die scheinwerfer-artigen Strahlen des Nordlichtes in Richtung der erdmagnetischen Kraft verlaufen. GAUSS sagt darüber:

„Es ließ sich hieraus schließen, daß dieselben Kräfte, welche die Erscheinung eines Nordlichtes hervorbringen, zugleich auch auf die Magnetnadel wirken . . . Es ließ sich kaum verkennen, daß nicht selten große und fernhin wirkende Naturkräfte dabei im Spiele sind, deren Kenntnis . . . einen würdigen Gegenstand der Naturforschung bietet. Obenhin und auf gut Glück gemachte Wahrnehmungen können uns diesem Ziel nicht näher bringen: um es zu erreichen, müssen viele solcher Erscheinungen im genauen Detail an vielen Orten gleichzeitig verfolgt und nach Zeit und Größe scharf gemessen werden. Dazu sind aber vorgängige bestimmte Verabredungen . . . wesentlich notwendig."

5. GAUSS meint damit die *magnetischen Termine,* die von HUMBOLDT angeregt waren; lange im voraus wurden Tage verabredet, an denen die Deklination in gleichmäßigen Zeitabständen abgelesen und aufgeschrieben werden sollte. Die GAUSSschen Präzisions-Instrumente und -Methoden wurden jetzt von vielen Physikern und Astronomen übernommen, und in den 6 Jahresbänden der *„Resultate aus den Beobachtungen des*

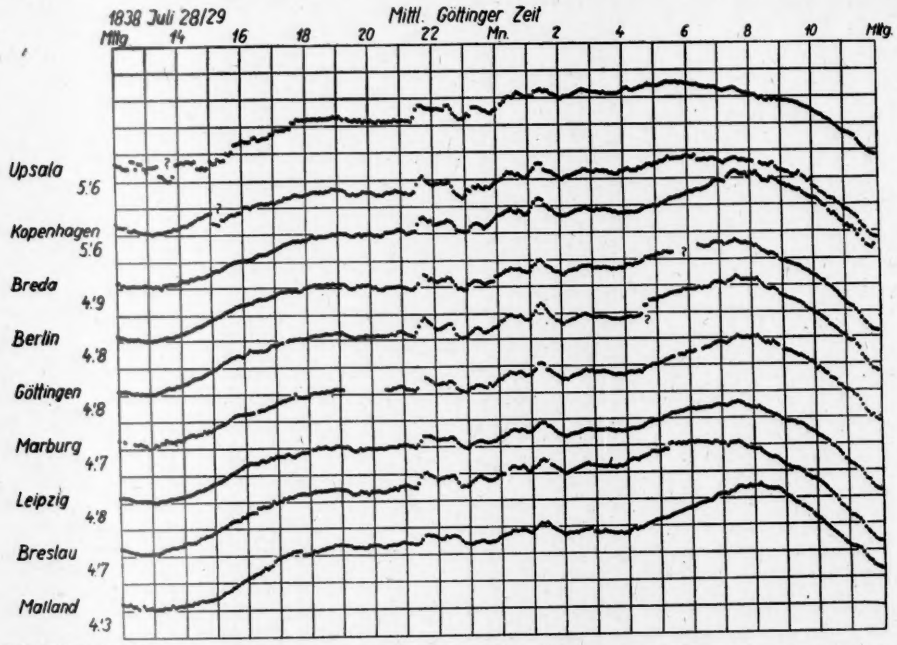


Fig. 1. Deklinations-Beobachtungen an 9 Stationen zum Termin 1838 Juli 28/29. Ablesungen alle 5 Minuten, hier aufgetragen als Variationen der magnetischen Kraftkomponente quer zum magnetischen Meridian, nach Osten positiv, mit der üblichen Krafteinheit gamma, in der z. B. die Horizontal-Intensität in Göttingen bei GAUSS' erster absoluter Messung gleich 17625 gamma = 0,17 625 Gauß wird. Vertikale Abstände der horizontalen Netzlinien 25 gamma, entsprechend einer jeweils links vermerkten Deklinationsänderung in Bogen-Minuten. Da nach astronomischer Sitte damals der Tag um Mittag begann, erscheint die regelmäßige sonnentägige Schwankung in zwei Teile zerschnitten. — Der Tag war ruhig; die heutigen Kennziffern (17) würden die erdmagnetische Unruhe in Göttingen in den acht dreistündigen Intervallen etwa durch 0, 0, 1, 2; 2, 1, 1, 1 ausdrücken. Das Ausmaß der sonnentägigen Schwankung wird, nach heutiger Anschauung, durch sonnentägige Wellenstrahlung **W** bedingt. Die Gleichzeitigkeit auch der kleinsten Störungen ist deutlich; sie sind Wirkungen schwacher, zeitlich veränderlicher solarer Partikelstrahlung **P**. Individuelle Änderungen an einzelnen Stationen sind schon von GAUSS als fragwürdig erkannt und durch Meßfehler bedingt.

magnetischen Vereins" für 1836 bis 1841, herausgegeben von GAUSS und WEBER, sind die Magnetometer-Ablesungen in extenso abgedruckt für 28 Termine von je 24 Stunden, in Abständen von 5 Minuten genau gleichzeitig nach Mittlerer Göttinger Zeit. 50 Observatorien wirkten mit Göttingen zusammen: Altona, Augsburg, Berlin, Breslau, Freiberg, Hannover, Heidelberg, Leipzig, Marburg, München, Seeberg bei Gotha, Prag, Kremsmünster, Brüssel, Breda in Holland, Haag, Genf, Mailand, Kopenhagen, Greenwich, Makerstoun (Schottland), Dublin, Petersburg, Krakau, Katharinenburg, Christiania, Upsala, Stockholm, Hammerfest, Stationen in Lappland, Finnland und auf Spitzbergen; Barnaul und Nertschinsk in Sibirien; Madras, Simla, Singapore, Trevandrum in Indien; St. Helena, Kapstadt, Toronto, Philadelphia, Washington, Cambridge (Mass.), sowie Stationen auf Kerguelen, Neu-Seeland, Tasmanien: ein imponierendes internationales Unternehmen, an dem Hunderte von Astronomen und Physikern aller Kulturnationen mitarbeiteten.

Für die ersten beiden Jahrgänge der „*Resultate*" hat GAUSS selbst „*Erläuterungen zu den Termins-Zeichnungen und den Beobachtungszahlen*" geschrieben. Er sagt z. B.: „*In den drei Sommerterminen 1836 sieht man durch alle großen Anomalien doch auch die tägliche regelmäßige Bewegung durchscheinen* (Fig. 1) . . . *Die außerordentlich große Ähnlichkeit der gleichzeitigen Deklinationsbewegungen an verschiedenen Orten, meistens bis zu den kleinsten Schattierungen herab, bestätigt sich hier wieder . . .*" Er spricht von den „*labyrinthischen Formen, welche die magnetischen Beobachtungen bei Vereinigung der Deklinations- und Intensitäts-Bewegungen in einer Kurve . . . uns vorführen.*"

6. Hinsichtlich der physikalischen Deutung der Er-

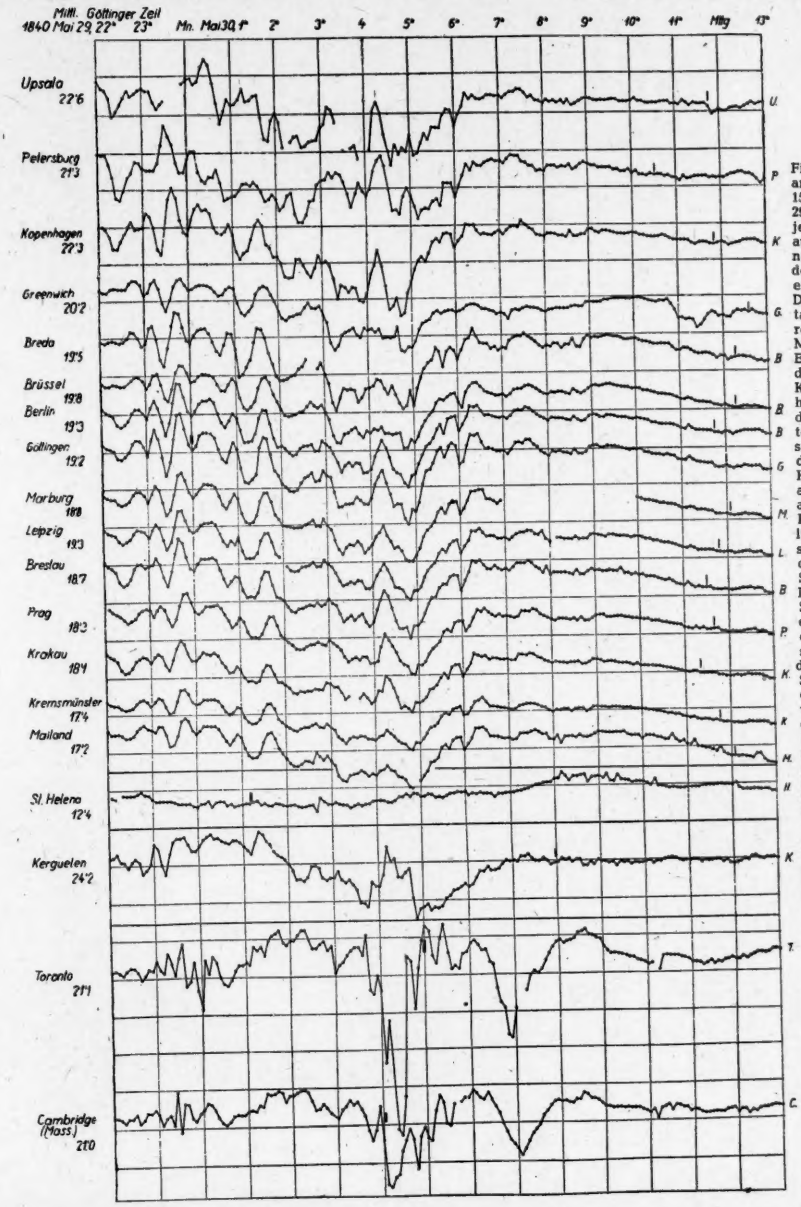


Fig. 2. Deklinations-Beobachtungen an 19 Stationen während der ersten 15 Stunden des Termins 1840 Mai 29/30. Darstellung wie in Fig. 1, jedoch mit (relativ zur Zeitskala) auf ein Viertel reduziertem Ordinatenmaßstab. Vertikale Abstände der horizontalen Netzlinien 100 gamma entsprechend den links vermerkten Deklinations-Änderungen. Ortsmittag angedeutet durch kurzen senkrechten Strich, für einige Stationen Mitternacht durch zwei Striche. — Einer der stärkst gestörten Termine des Magnetischen Vereins; die Kennziffern für Göttingen, nach heutiger Definition, wären für die dargestellten 5 dreistündlichen Intervalle gleich 6, 6, 6, 4, 3. Gesamt-Kompaß-Schwankung während des Termins in Göttingen 57', in Kopenhagen 77', in Toronto 117', auf Kerguelen 56', in Mailand 31'; auf St. Helena, weit von den Polarlichtzonen, ist die ruhige tägliche Schwankung kaum gestört. Offenbar hatte der Termin das Ende eines magnetischen Sturms mittlerer Stärke erfaßt. Alle Deklinations-Störungen (außer in St. Helena) bis Mai 30, 5 Uhr, werden bewirkt durch flächenhafte elektrische Ströme in der Ionosphäre, deren Stromdichte sich daraus abschätzen läßt, daß 1 gamma Störung durch eine Flächen-Stromdichte von 1 Ampère/km bewirkt wird. Da alle Stationen außerhalb der Polarlichtzone liegen —, die bei diesem Sturm in ihrer normalen Lage blieb —, sind die ionosphärischen Ströme nur „Rückströme" (vgl. Abschnitt 10). Die zeitlichen erdmagnetischen Schwankungen sind im wesentlichen bedingt durch Schwankungen der solaren Partikelstrahlung P; diese trifft am Abend des 29. Mai bevorzugt die Polarlichtzone nördlich von Europa, später Amerika. Nach 9 Uhr morgens (Göttinger Zeit) geht allgemein der Beschuß der Erde durch solare Partikel auf die übliche Stärke zurück.

gebnisse hielt sich GAUSS sehr zurück. Er sagt: *„Für jetzt kann es noch gar nicht unser Beruf sein, diese rätselhafte Hieroglyphenschrift der Natur zu entziffern; wir müssen vorerst unser Bestreben nur sein lassen, Abschriften von dem, was sich darbietet, zu sammeln, und denselben immer mehr Zuverlässigkeit, Treue und Mannigfaltigkeit zu verschaffen . . . Es wird der Triumph der Wissenschaft sein, wenn es dereinst gelingt, das bunte Gewirre der Erscheinungen zu ordnen, die einzelnen Kräfte, von denen sie das zusammengesetzte Resultat sind, auseinander zu legen, und einer jeden Sitz und Maß nachzuweisen."*

Sicherlich hat GAUSS viel über die physikalische Natur der Variationen nachgedacht, aber da er *„alles übereilte Publicieren haßte und immer nur Reifes zu geben wünschte"*, begab er sich nicht gerne auf den *„lockeren Boden der Hypothesen"*. Wir finden in seinen Schriften nur wenige, aber zutreffende Andeutungen: Er geht davon aus, daß die zeitlichen Variationen doch nur relativ kleine Abänderungen zur großen erdmagnetischen Kraft seien (nur ganz selten mehr als 1 Prozent), und daß beide durchaus nicht notwendig gleichen oder gleichartigen Ursachen zuzuschreiben seien. Die Hauptkraft könne sehr wohl im Erdkörper ihren Sitz haben, während die Variationen Wirkungen elektrischer Ströme sein könnten, vielleicht weit außerhalb der Atmosphäre. *„Die atmosphärische Luft"*, sagt GAUSS, *„ist kein Leiter solcher Ströme, der leere Raum auch nicht: unsere Kenntnisse verlassen uns also, wenn wir einen Träger für galvanische Ströme in den oberen Regionen suchen. Allein die rätselhaften Erscheinungen des Nordlichtes, bei welchem allem Anschein nach Elektrizität in Bewegung eine Hauptrolle spielt, verbietet uns, die Möglichkeit solcher Ströme bloß jener Unwissenheit wegen geradezu zu leugnen, und es bleibt jedenfalls interessant, zu untersuchen, wie die aus denselben hervorgehende magnetische Wirkung auf die Erdoberfläche sich gestalten würde."* Er leitet deshalb in seiner *„Allgemeinen Theorie des Erdmagnetismus"* mittels neuer Begriffe, des Potentials und der Kugelfunktionen, jene mathematischen Sätze ab, die es gestatten, aus Beobachtungen an der Erdoberfläche allein die erdmagnetische Kraft zu zerlegen in die beiden Teile, die aus dem Erdinnern oder aus dem Außenraum stammen.

Zu einer physikalischen Theorie konnte GAUSS auch hinsichtlich der zeitlichen Variationen nicht vordringen. Man konnte sich damals zwar immer wieder erfreuen an der ausgezeichneten Übereinstimmung in den zeitlichen Variationen an den europäischen Stationen, denn dieser Gleichlauf ließ ein einfaches großräumiges Phänomen als Ursache erhoffen, aber er blieb nicht erhalten als man Terminbeobachtungen weiter entfernter Orte einbeziehen konnte, wo die Variationen ein ganz anderes Bild ergaben (Fig. 2). Alle Anstrengungen der besten Naturforscher versagten gegenüber diesem Rätsel.

So erlahmte schließlich der Eifer, und nach GAUSS rückte der Erdmagnetismus allmählich aus dem Mittelpunkt des Interesses der Physiker und Astronomen heraus; man wandte sich mit Recht anderen Erscheinungen zu, deren Studium sich mehr lohnte. Außerhalb Göttingens wirkten aber die Gedanken des Magnetischen Vereins weiter: 1839 beauftragte die Royal Society in London EDWARD SABINE mit der Errichtung von vier kolonialen Observatorien in Toronto, St. Helena, Kapstadt und Hobarton; auch an anderen Observatorien wurde planmäßig weiter beobachtet. Allmählich wurden die mühsamen Augenablesungen durch photographische Registrierung ersetzt, zuerst 1847 in Greenwich.

7. Inzwischen hatte SCHWABE in Dessau aus seinen langjährigen Sonnenfleckenzählungen geschlossen, daß die Fleckenanzahl mit einer Periode von etwa 10 Jahren schwankte, und gleich darauf fand SABINE, daß sich die Häufigkeit und Stärke der magnetischen Störungen in Toronto parallel mit diesem Sonnenflecken-Zyklus änderte (Fig. 3): wenn die Sonne viele Flecken zeigt,

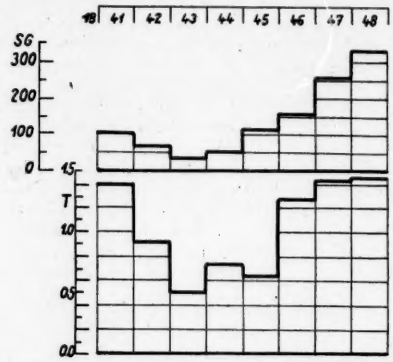


Fig. 3. SG = Jährliche Zahl der Sonnenflecken-Gruppen nach SCHWABE. T = Häufigkeitsmaß für erdmagnetische Störungen in Toronto. Aus diesem Material schloß SABINE auf den Gleichlauf von Flecken- und Störungs-Häufigkeit. — Heute erkennt man in dem oben dargestellten Zusammenhang auch das charakteristische Nachhinken der Intensität solarer Partikel-Strahlung P (wofür T eine der ersten Maßzahlen war) im 11jährigen Zyklus: die Flecken waren 1841 (absteigender Ast des Zyklus) seltener als 1847, aber P war in beiden Jahren gleich stark. Vergl. Fig. 8 und 10.

sind erdmagnetische Stürme häufiger als wenn Sonnenflecken fehlen. SABINE sagte darüber: *„Die Entdeckung einer so bemerkenswerten Beziehung, die anscheinend dem Magnetismus eine viel höhere Stellung in der Skala der verschiedenen Naturkräfte gibt als man ihm früher zuschrieb, kann man mit Recht für die Kolonial-Observatorien in Anspruch nehmen, als das Ergebnis des Beobachtungsdienstes, der so geduldig und sorgfältig aufrechterhalten wurde . . ."*

8. Der entscheidende *theoretische* Fortschritt kam dann zuerst für die regelmäßigen sonnen- und mondentägigen Variationen in der sogenannten *Dynamo*-Theorie, die BALFOUR STEWART in dem Artikel „Erdmagnetismus" der 9. Auflage der Encyclopaedia Britannica 1882 darlegte. Er sagte, wie GAUSS, daß man sich nur *elektrische Ströme in der höheren Atmosphäre* als Ursachen für diese magnetischen Variationen denken könnte; das alte Bedenken, daß diese Schichten ungenügend leitfähig seien, konnte er jetzt entkräften mit dem Hinweis auf neue Experimente von HITTORF über elektrische Ströme durch verdünnte Gase. Wenn sich nun solche leitenden Luftschichten relativ zum permanenten Magnetfeld der Erde bewegen, so werden in ihnen elektrische Ströme induziert, deren magnetische Wirkung schließlich am Erdboden als tägliche erdmagnetische Variation erscheint. Die Analogie mit einem Stromgenerator ist vollkommen: Der Erdkörper ist der Dauermagnet, die bewegte Luft ist die Armatur, und die leitenden Luftschichten vertreten die Drahtwicklungen.

ARTHUR SCHUSTER hat diese gewagte Hypothese theoretisch fundiert (1889 und 1908). Er unterwarf die tagesperiodischen magnetischen Variationen der GAUSSschen Kugelfunktionsanalyse und bestätigte, daß der Sitz ihrer primären Ursachen tatsächlich außerhalb der Erdoberfläche liegt; er zeigte im einzelnen, welche Bewegungen der Atmosphäre den Generator antreiben könnten. Da die elektrische Leitfähigkeit von Gasen auf ihrem Gehalt an Elementarteilchen, Ionen und Elektronen beruht, spricht man von stark ionisierten Schichten in der hohen Atmosphäre, von der *Ionosphäre*, (13), (14), die damit erdmagnetisch erschlossen war.

Der Londoner Mathematiker SYDNEY CHAPMAN (12), der mit großem Erfolg die magnetischen Variationen statistisch und theoretisch bearbeitet hat, faßte Anfang 1925 das erdmagnetische Beweismaterial für die

Existenz dieser ionisierten Luftschichten zusammen, mit vielen Einzelheiten, auch über die Ursache der Ionisation, die auf zwei Anteilen der Sonnenstrahlung beruht (Wellen W, Partikel P), wie noch näher besprochen werden soll. Es war eine bemerkenswerte Leistung der Geophysik, so viele konkrete Angaben aus indirekten Schlüssen abzuleiten.

9. Im gleichen Jahr 1925 wurden dann diese theoretischen Vorstellungen durch neue Experimente endgültig bestätigt: Mehrere Gruppen von Physikern — es seien hier nur APPLETON in London und TUVE in Washington genannt — zeigten, daß tatsächlich drahtlose Wellen in mindestens 100 km Höhe an einer ionisierten Schicht gespiegelt werden. Seitdem ist diese Schicht, die Ionosphäre, mittels reflektierter Wellen weitgehend erforscht; Dutzende von Ionosphären-Observatorien sind in voller Tätigkeit, wobei der praktische Nutzen, die Funkberatung, auch der Wissenschaft zugute kommt. Man fand verschiedene Stockwerke, die man durch große Buchstaben unterscheidet; außer der E-Schicht, in etwa 100 km, eine F-Schicht in über 200 km Höhe, die sich bei Tage in zwei Schichten F_1 und F_2 aufspaltet.

Die Entdeckung dieser neuen Welt hoch über uns verleiht dem reichen Vorrat an erdmagnetischen Erkenntnissen über die zeitlichen Variationen neuen Wert, denn jede erdmagnetische Aussage über die elektrischen Ströme in der Ionosphäre steht in unmittelbarem Zusammenhang mit den direkten Reflexionsbeobachtungen und mit den Empfangsverhältnissen im drahtlosen Nachrichtenverkehr. Die direkten Ionosphären-Beobachtungen machen auch nicht etwa die erdmagnetischen Messungen überflüssig, im Gegenteil, beide Erscheinungskomplexe geben erst zusammen ein vollständiges Bild. Selbst scheinbar so weltabgewandte Untersuchungen wie diejenigen über die mondentägigen erdmagnetischen Variationen gaben Aufschluß über die Ionosphäre; sie führten zum Nachweis, daß die Ebbe- und Flutbewegung in der Ionosphäre stärker hervortritt als die unregelmäßigen Winde, — also ganz anders als in der Luft am Erdboden, wo der Mondeinfluß in den Wetteränderungen ertrinkt —, und zur Feststellung, daß die Elektronen-Konzentration in Höhe der E-Schicht vom Tag zur Nacht im Verhältnis 100:1 oder noch stärker abnimmt (15). Beides bestätigt sich, nach APPLETON und PIGGOTT, bei Analysen genauer direkter Ionosphären-Messungen (20).

10. Wie erwähnt, lassen sich die erdmagnetischen Variationen nach GAUSS mathematisch als Wirkungen von Stromsystemen in der Ionosphäre beschreiben. Solche äquivalenten Stromsysteme hat CHAPMAN nicht nur für die regelmäßigen tagesperiodischen Variationen konstruiert, sondern auch für die erdmagnetischen Störungen oder Stürme, in denen die Analyse viele regelmäßige Züge aufgezeigt hat.

Als Beispiel ein neueres Teilergebnis: Bei erdmagnetischen Stürmen am Nachmittag und Abend fließen längs der Nordlichtzone konzentrierte elektrische Ströme, und zwar ausnahmslos von Westen nach Osten. Gewöhnlich verläuft nun die Nordlichtzone 1600 km nördlich von uns, zwischen Island und den Faröer hindurch zum Nordkap. Wir merken deshalb als Wirkung des entfernten elektrischen Stromes in der Nordlichtzone gewöhnlich eine Verstärkung der magnetischen *Vertikal*komponente am Nachmittag und Abend; in den *horizontalen* Komponenten merken wir dagegen nur die *Rückströme*, die über uns fließen und für die konzentrierten Ströme längs der Nordlichtzone die Stromkreise schließen (z. B. in Fig. 2). Bei intensiven Stürmen erweitert sich aber die Nordlichtzone, und in ganz seltenen Fällen verschiebt sie sich sogar bis zu uns und noch weiter südlich, wie am Nachmittag des 28. März 1946, als ein Strom von fast 2 Millionen Ampere quer über Deutschland floß[6]).

Bei solchem Aufruhr in der Ionosphäre ist natürlich an Funkverkehr über weite Entfernungen nicht zu denken; aber im Norden, wo sonst das Polarlicht so oft stört, kann in solchen Fällen gleichzeitig Funkverkehr möglich sein, weil eben die ganze Polarlichtzone sich vom Pol entfernt hat. Derartige Verhältnisse kann man erdmagnetisch beurteilen, — natürlich auch am Tage, wenn das Polarlicht überstrahlt wird, — und man kann daraus praktische Aussagen und Ratschläge für das drahtlose Nachrichtenwesen ableiten. Wieder, wie zur Zeit von GAUSS und WEBER, erscheint der Erdmagnetismus in Verbindung mit der Telegraphie, die damals noch an den Draht gebunden war und heute die Ionosphäre als Wellenträger benutzt.

11. So verzeichnen die erdmagnetischen Variationen getreulich alle Veränderungen in jenen äußersten Schichten unserer Lufthülle, in der ganzen Skala von feinsten, gerade noch nachweisbaren Mondwirkungen oder winzigen Schwankungen eines äquatorialen Ringstroms, die sich durch ihre Gleichzeitigkeit auf der ganzen Erde verraten, bis zu den heftigsten magnetischen Stürmen. Das gibt uns die Möglichkeit, auf die Ursachen der Ionisierung zu schließen, die in sehr stark wechselnden Anteilen der *Sonnenstrahlung* liegen. Von einem solchen Wechsel merken wir fast nichts in Sonnen*licht* oder in der Sonnen*wärme*. Denn diese Energie spendet die Sonne in erstaunlich gleichmäßiger Weise, die Abweichungen (auf gleichen Abstand reduziert) liegen unter 1 Prozent, sind also kleiner als die Abnahme (um 6 Prozent) vom Januar zum Juli infolge der elliptischen Gestalt der Erdbahn. Alle scheinbaren unregelmäßigen Änderungen dieser Licht- und Wärmestrahlen werden erst auf dem Wege von der Grenze der Atmosphäre bis zum Erdboden bewirkt durch die wechselnde Beschaffenheit der Lufthülle. Die beiden erdmagnetisch wirksamen Anteile der Sonnenstrahlung werden aber schon hoch über uns von der Atmosphäre völlig absorbiert: Ultraviolette Wellenstrahlung einerseits, Korpuskeln, Partikel, also Sonnenmaterie anderer-

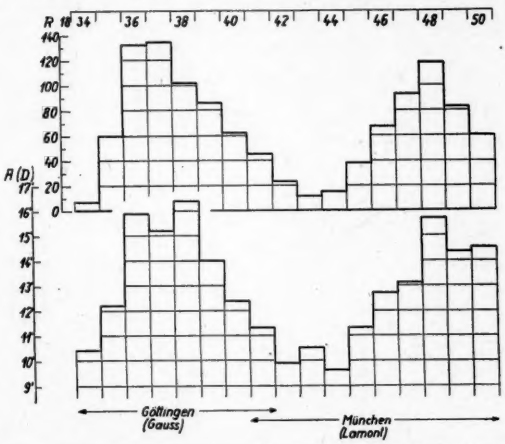


Fig. 4. Durchschnitte für Sommer-Halbjahre, 1834 bis 1850. Oben: Züricher Sonnenfleckenrelativzahlen **R**. Unten: Tagesperiodische Abnahme **A (D)** der Deklination vom Morgen zum Mittag. Die ersten drei Jahre der Göttinger Beobachtungsreihe sind von GAUSS selbst bearbeitet. Die Münchener Reihe ist nach LAMONT auf Göttinger Niveau reduziert. — Heute erkennt man in diesen Zahlen das älteste Material über den Gleichlauf von Flecken R und erdmagnetisch wirksamer Wellenstrahlung **W**, wenn auch **A (D)** noch ein unvollkommenes, von **P** gestörtes Maß für **W** ist. Man kann daran demonstrieren, daß **W nicht** hinter **R** nachhinkt, wie schon der Vergleich der Werte für 1841 und 1847 zeigt, im Gegensatz zu Fig. 3.

[6]) Das läßt sich aus den magnetischen Registrierungen des Observatoriums Wingst schließen, die ich Herrn Prof. ERRULAT verdanke.

seits, die mit rund 2000 km/sec Geschwindigkeit von der Sonne zu uns gelangt (14). Beide Strahlenarten (kurz als *W* und *P* bezeichnet) ionisieren (und dissoziieren) die Luft in der Höhe und verursachen so ihre elektrische Leitfähigkeit. Ihre Intensitäten sind äußerst veränderlich, im ursächlichen Zusammenhang mit einer Fülle wechselnder Erscheinungen auf der Sonnenoberfläche, die sich alle im 11jährigen Sonnenfleckenzyklus (Sonnenflecken-Relativzahl *R*) ändern, aber auch schon innerhalb einer einzelnen Sonnenrotation von 27 Tagen, je nach der Aktivität der Teile der Sonnenoberfläche, die der Erde nacheinander zugewandt sind (Fig. 4, 5, 6).

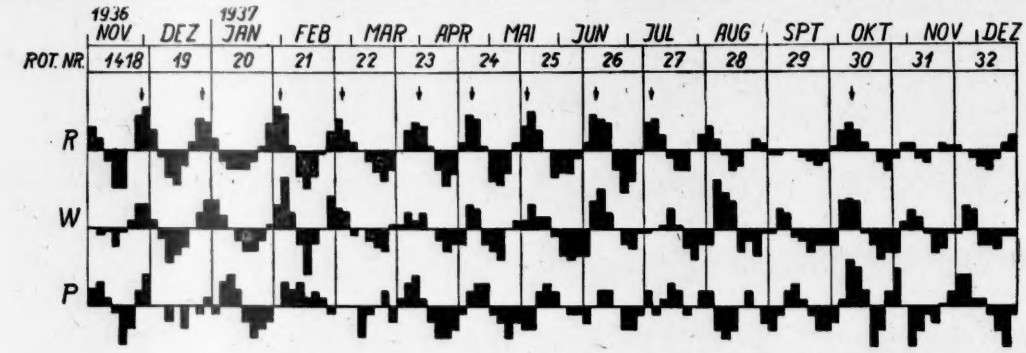


Fig. 5. Kurzfristige Schwankungen der Sonnenflecken-Relativzahlen R und der erdmagnetisch erschlossenen Strahlungen W (Wellen) und P (Partikel) während 15 Sonnen-Rotationen zu je 27 Tagen im Flecken-Maximum 1937 (16). — Für jedes Achtel einer Rotation sind Durchschnitte über 10 aufeinanderfolgende Tage gebildet; die Abweichungen dieser Dekadenmittel von den laufenden Rotationsmitteln sind dargestellt. Ausgangsmaterial für **R** Züricher Zahlen; für **W** normierte und vom Mondeinfluß befreite Amplituden der tagesperiodischen Schwankungen der Horizontalintensität am Observatorium Huancayo (Peru) der Carnegie-Inst. Washington; für **P** erdmagnetische Charakterzahlen. — Die Parallelität der Schwankungen von **R** und **W** ist deutlicher als die von **R** und **P**.

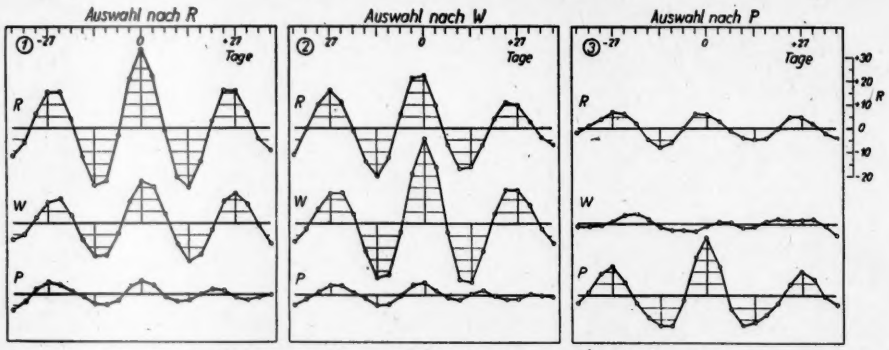


Fig. 6. Genauere Untersuchung der Beziehungen zwischen den nach Art der Fig. 5 definierten Größen **R**, **W**, **P**, 1922—1937, nach der Methode der überlagerten Stichtage. Bei diesem **„statistischen Experiment"** wählt man z. B. in den Kurven für **R** als Stichtage die Eintrittszeiten der Maxima aus (in Fig. 5 durch Pfeile bezeichnet) und überlagert Kurvenstücke, indem man die Stichtage aufeinanderlegt. Mit denselben Stichtagen überlagert man Kurvenstücke für **W** und **P**. Das Ergebnis dieses ersten Experiments, die drei durchschnittliche Kurven, sind im linken Drittel (1) übereinander gezeichnet: Für **R** zeigt sich dabei natürlich das Maximum in der Mitte, ferner die „Wiederholungen" 27 Tage vor- und nachher. Die Kurve für **W** läuft, mit geringer Verspätung, parallel zu **R** (das ist das Hauptergebnis), während **P** weniger deutlich variiert. — Die statistische Erscheinung der **Regression** macht zwei Parallel-Experimente (2) und (3) notwendig, bei denen die Auswahl der Stichtage nach **W** und **P** getroffen wird 16). — Das Ausmaß dieser kurzfristigen Schwankungen der Sonnenstrahlung innerhalb einzelner Rotationen (bei **R** über 60 Einheiten) reicht an die Unterschiede zwischen Maximum und Minimum des 11jährigen Zyklus heran; sie sind, wegen ihrer größeren Anzahl, für die Untersuchung solar-terrestrischer Beziehungen statistisch wertvoll.

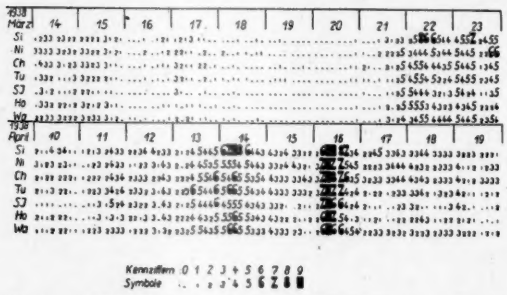


Fig. 7. Dreistündliche erdmagnetische Kennziffern (17) für 1938 März 14—23 und April 10—19, für die 7 Observatorien Sitka (Alaska), Niemegk (bei Berlin), Cheltenham (bei Washington), Tucson (Arizona), San Juan (Porto Rico), Honolulu und Watheroo (West-Australien). Skala 0 = völlige Ruhe bis 9 = stärkster Sturm. Die graphische Tabelle zeigt die Gleichzeitigkeit der erdmagnetischen Störungen durch solare Partikelstrahlung **P** auf der ganzen Erde, insbesondere der Gegensatz zwischen der Ruhe am 20. März und dem Sturm am 16. April.

Für das Studium dieser wechselnden Einflüsse der Sonne auf die Erde ist nun der Erdmagnetismus mit seinem gleichmäßigen Beobachtungsmaterial, das sich über viele Jahrzehnte erstreckt, eine schier unerschöpfliche Fundgrube, als Ergänzung der direkten astrophysikalischen Sonnenbeobachtungen, die ja diese unsichtbaren Strahlen ebenfalls nur indirekt erschließen können. Langlebige begrenzte sogenannte M-Regionen auf der Sonne, die mehrere Rotationen hindurch alle 27 Tage wieder die Erde mit Partikeln beschießen, sind dabei rein erdmagnetisch erschlossen worden; sie sind paradoxerweise auch dann besonders stark ausgeprägt, wenn die Sonne frei von Flecken ist, — wie denn überhaupt aus den erdmagnetischen Variationen klar hervorgeht, daß die Erde eigentlich ständig mehr oder minder stark von Sonnenmaterie beschossen wird, mit Ausnahme weniger Stunden im Jahr (Fig. 7, 8).

Die Lösung des Problems, diesen erdmagnetischen Befund mit astrophysikalischen Erscheinungen auf der Sonnenoberfläche theoretisch in Einklang zu bringen,

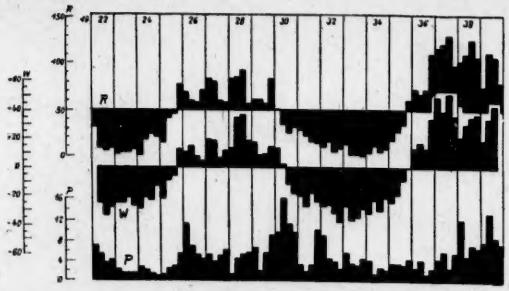


Fig. 8. Schwankungen der Sonnenflecken **R**, Wellenstrahlung **W** und Partikelstrahlung **P**, Vierteljahrsmittel 1922—39. Ausgangsmaterial für **R** und **W** wie in Fig. 5; die Werte sind in Abweichungen von einem durchschnittlichen Niveau entsprechend **R** = 50 aufgetragen. Die Parallelität von **R** und **W** ist die engste Korrelation dieser Art zwischen einer solaren und einer terrestrischen Erscheinung (Korrelationskoeffizient der Vierteljahrsmittel + 0.97). Für **P** ist aufgetragen die prozentische Anzahl der dreistündlichen Intervalle mit Kennziffern 5 bis 9 in Niemegk; hierin zeigt sich das Nachhinken von **P** hinter **R** besonders deutlich, z. B. in der starken Unruhe der Jahre 1930 und 1943, verglichen mit den Jahren 1936/7 (und 1945) im aufsteigenden Ast des 11jährigen Zyklus.

macht Fortschritte (18). So stehen Sonnenphysik, Ionosphärenforschung und Erdmagnetismus in fruchtbarem Austausch von Beobachtungsergebnissen statistischen Bearbeitungsmethoden und theoretischen Gedanken.

12. Auch in Göttingen haben wir einen kostbaren Schatz, der dafür nutzbar gemacht werden kann, nämlich 15 Jahrgänge erdmagnetischer Registrierungen des Geophysikalischen Samoa-Observatoriums, das im Jahre 1902 auf Anregung des Erdmagnetikers ADOLF SCHMIDT und des Göttinger Geographen HERMANN WAGNER von der Gesellschaft der Wissenschaften gegründet wurde und wesentlich vom Göttinger Geophysikalischen Institut aus, unter EMIL WIECHERT, betreut wurde. Mein Vorgänger auf dem Lehrstuhl für Geophysik, GUSTAV ANGENHEISTER, hat als langjähriger erfolgreicher Leiter des Samoa-Observatoriums, durch die Kriegsjahre hindurch bis 1920, das entscheidende Verdienst daran, daß auch dieses Material gewonnen und geborgen wurde, und er hat schon manche wertvolle Folgerung von Bestand daraus gezogen. Jeder einzelne tägliche Gang, jeder registrierte magnetische Sturm sind sozusagen Protokolle von Experimenten, die uns von der Natur nur einmal in gerade dieser Form vorgeführt werden. Und bei der schier unübersehbaren Mannigfaltigkeit der Erscheinungsformen der magnetischen Variationen gibt es, wie GAUSS bei der Gründung des Magnetischen Vereins sich ausdrückte, *„zum Ausscheiden des Regelmäßigen keinen anderen Weg, als eine große Menge von Beobachtungen nach einem bestimmten Plan anzustellen, mit beharrlicher Consequenz eine lange Zeit fortzusetzen, und in schicklichen Combinationen Mittelwerthe abzuleiten, aus welchen der Einfluß der das Einzelne stets treffenden Anomalien, so viel zu erreichen möglich ist, verschwindet."*

Erfolgreicher als in der Meteorologie, trotz ihrer viel stärkeren Anstrengungen, hat im Erdmagnetismus diese Art der Beobachtungen und ihrer statistischen Analyse (19) den Schleier durchdringen können, den die Natur über ihre Geheimnisse breitet.

Außer den allgemeinen Schlüssen sind auch die langjährigen Tabellen selbst von Wert, die als Extrakt von Millionen von Einzelwerten in konzentrierter, übersichtlicher Form Tag für Tag die Intensität der beiden Strahlungsarten, Wellen und Partikel, angeben, wie sie die Erde trafen (Fig. 9). Denn wenn man überhaupt daran glaubt, daß Vorgänge auf der Erde von außen her beeinflußt werden, so verdienen diese unaufhörlichen Schwankungen der Sonnenstrahlung unser Interesse, auch als Grundlage für das Studium anderer Erscheinungen auf der Erde, — nicht bloß physikalischer Natur, wie etwa in der Meteorologie, sondern auch für biologische Erscheinungen, vielleicht sogar für das menschliche Leben selbst. Hier fehlt es freilich sehr an vergleichbarem statistischen Material; vom Befinden eines Menschen wird ja amtlich nicht viel mehr als seine Todesursache protokolliert. Übrigens leidet auch das Studium der Beziehungen zwischen den gleichzeitigen Variationen der durchdringenden Höhenstrahlung und des Erdmagnetismus darunter, daß es für die Höhenstrahlung noch immer kein Analogon zum alten Göttinger Magnetischen Verein gibt; jeder Beobachter veröffentlicht im allgemeinen nur die *Schlüsse*, die er selbst aus seinem Material gezogen hat, während die Original-Beobachtungen nur ausnahmsweise zugängig gemacht werden.

13. Seit dem letzten Sonnenflecken-Minimum im Frühjahr 1944 steigt die Sonnentätigkeit sehr stark an, wir stehen vor einem Sonnenflecken-Maximum von derselben Intensität wie 1870, oder 1837, im zweiten Jahr des Göttinger Magnetischen Vereins (Fig. 10). In den drei Monaten Februar bis April 1946 sind bereits mehr heftige magnetische Stürme beobachtet worden, als im ganzen 11jährigen Flecken-Zyklus 1923 bis 1933. Mancher wird sich vielleicht aus den ersten Tagen des Februar 1946 erinnern, daß über den Rundfunk starke Störungen des Funkempfanges angekündigt wurden und auch tatsächlich eintraten. Man hatte nämlich bei der Sonnenüberwachung eine Eruption beobachtet, eine intensiv helle Stelle in der Nähe eines riesigen Sonnenflecks, gewissermaßen das Mündungsfeuer beim Abschuß einer Partikel-Wolke in der Richtung auf die Erde. Man weiß (14), daß solche Wolken etwa 20 Stunden bis zur Erde gebrauchen, und konnte deshalb rechtzeitig ihr Eintreffen voraussagen, also den Ausbruch des magnetischen Sturmes mit allen seinen Begleiterscheinungen. Das war ein weiteres schönes Beispiel für einen großartigen Naturvorgang, den man in seinen Grundzügen schon seit 10 Jahren einigermaßen kennt. (Inzwischen, 1946 Juli 25—27, wiederholt beim Vorübergang einer riesigen, mit bloßem Auge sichtbaren Fleckengruppe durch die Mitte der Sonnenscheibe). Aber neuartig war dabei eine Beobachtung, deren Bedeutung vor folgendem Hintergrund erkennbar wird:

Atmosphäre und Ionosphäre lassen von dem ganzen weiten Spektrum der elektromagnetischen Wellen verschiedener Frequenz oder Wellenlänge nur kleine Ausschnitte durch. So wird die Oktave des sichtbaren Lichtes nach dem Ultraviolett zu vom atmosphärischen Ozon abgeschnitten, das uns in einem weiten Wellenbereich völlig von der Außenwelt absperrt. Was wir von einer Sonneneruption *sehen*, ist nur die schwache Begleiterscheinung eines Vorganges, der im unzugänglichen Ultraviolett sicherlich viel intensiver ist. Ebenso können (vom Boden aus) lange drahtlose Wellen wohl die untere Atmosphäre, nicht aber die Ionosphäre durchdringen; kürzere drahtlose Wellen, unter 10 m Länge, durchdringen auch die F-Schicht und damit die ganze Lufthülle. Man kann deshalb z. B. ein drahtloses Signal auf 2 Meter Wellenlänge in den Weltenraum senden und eventuell sein Echo an der Mondoberfläche abhören, das nach etwa 2,5 Sekunden zurückkommt. Dieses Experiment ist, nach Zeitungsmeldungen, am 10. Januar 1946 tatsächlich mit einem Funkmeßgerät der amerikanischen Nachrichtentruppe gelungen.

Anfang Februar beobachtete man nun in England folgendes (20): Funkmeßgeräte an verschiedenen Orten nahmen ständig ein Rauschen auf, über dessen Herkunft man sich zunächst im Unklaren war, bis man erkannte, daß alle Geräte als Störquelle die Sonne anpeilten, auf

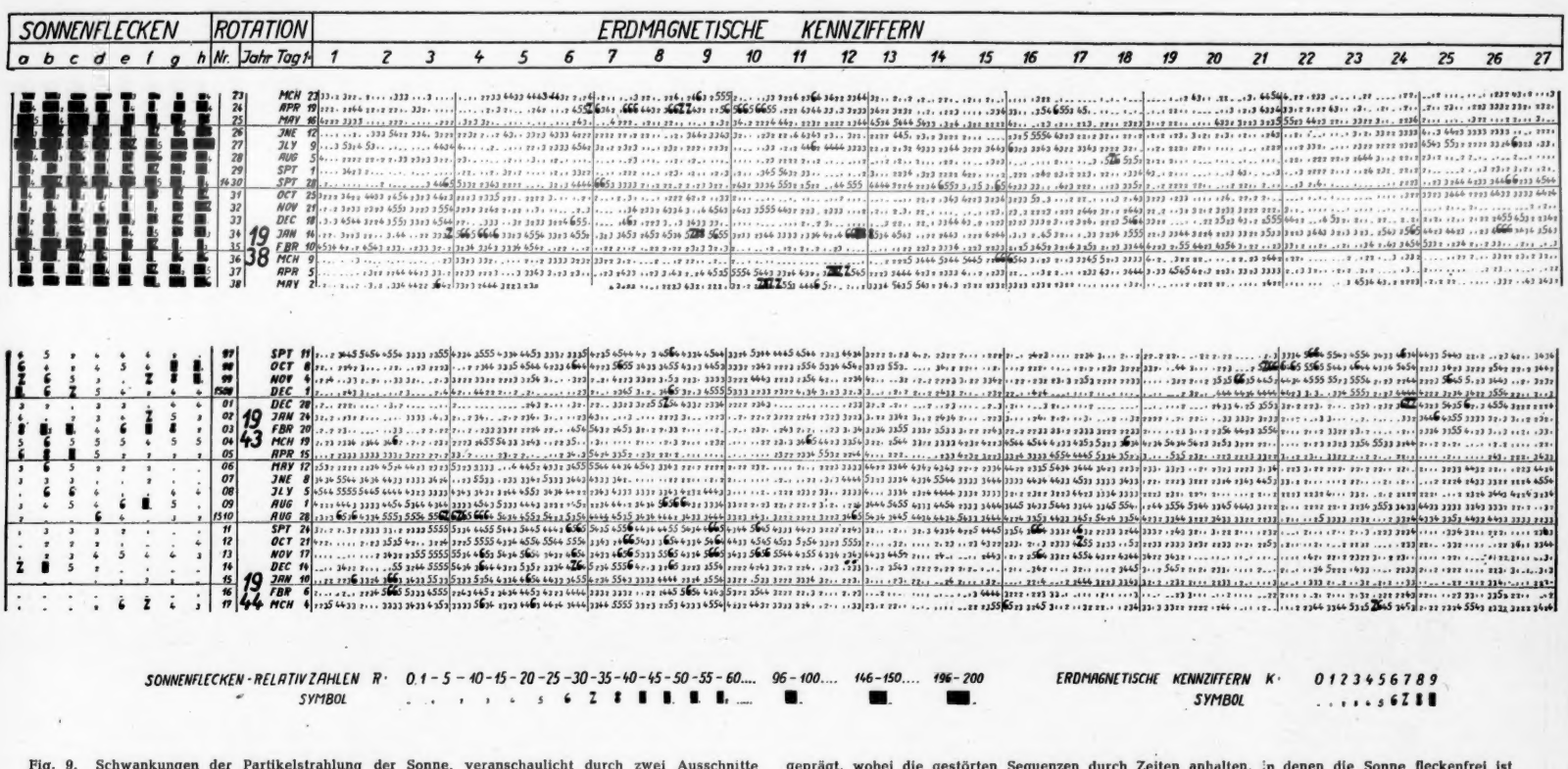


Fig. 9. Schwankungen der Partikelstrahlung der Sonne, veranschaulicht durch zwei Ausschnitte aus einer Tabelle (1911—46) dreistündlicher erdmagnetischer Kennziffern **K**. Die Symbole für **K** (8 pro Tag) sind in Zeilen eingeteilt, die je 27 Tage = 1 Sonnenrotation umfassen; das Datum des ersten Tages jeder Rotation ist angegeben. Übereinander stehende Werte folgen sich also nach einer Rotation; eine Wiederholungsneigung äußert sich in vertikalen Sequenzen kleiner und großer Werte. Die K gelten für Berlin (Niemegk), allgemeiner für Mittel-Europa; abgesehen von einer lokalen Bevorzugung der Abendstunden (**P** trifft die Polarlichtzone nördlich von Europa am stärksten abends) sind die Schwankungen von **P** auf der ganzen Erde ähnlich (vgl. Fig. 7). — In der linken Leiste sind die Sonnenflecken-Relativzahlen **R** veranschaulicht, in Durchschnitten für je etwa 3 Tage (Rotations-Achtel). — **Oben:** Flecken-Maximum, Rotationen 1423 bis 1438, umfassend 1937 März 23 bis 1938 Mai 28; **unten:** vor einem Sonnenflecken-Minimum, Rot. 1497 bis 1517, umfassend 1942 Sept. 11 bis 1944 März 30. — Charakteristisch: die mittleren Störungsgrade K = 4 bis 6 sind vor dem Minimum häufiger als im Maximum, und die 27tägige Wiederholungsneigung ist dann stark ausgeprägt, wobei die gestörten Sequenzen durch Zeiten anhalten, in denen die Sonne fleckenfrei ist (wie z. B. 1944 Febr. 3—29). Im Maximum häufig magnetische Ruhe (K = 0 bis 2), dazu einzelne heftige Stürme (K = 7 bis 9), wie 1937 April 24 bis 28, 1938 Jan. 16/17, Jan. 22, Jan. 25/26 April 16 (Fig. 7), Mai 11/12. Man vergleiche **K** in den Rotationen 1427 (1. Tag 1937 Juli 9, **R** zwischen 115 und 223, also ständig mehr als 10 Fleckengruppen sichtbar) und 1516 (1. Tag 1944 Febr. 6 fast durchweg fleckenfreie Sonne).

Deutung: Im Laufe des Flecken-Zyklus nähern sich die M-Regionen dem Sonnenäquator. Dadurch wächst die Treff-Wahrscheinlichkeit radial emittierter Partikelwolken. Diese Ansicht wird dadurch gestützt, daß die 27tägige Wiederholungsneigung im absteigenden Ast des Zyklus viel stärker ist als im aufsteigenden, was wiederum die größere Häufigkeit der mittleren Störungsgrade vor dem Flecken-Minimum erklärt: jede einzelne M-Region wirkt mehrere Male während ihrer Lebensdauer. Material aus den 60 Jahren 1884—1943 in Part II der Arbeit (16).

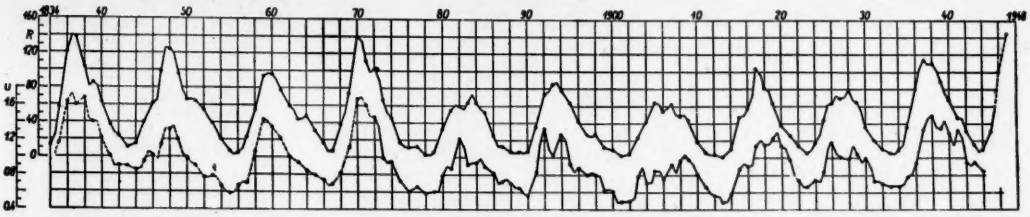


Fig. 10. Jahresmittel der Züricher Sonnenfleckenrelativzahlen **R** und der erdmagnetischen Störungsintensität (u-Maß) 1834—1945). Das u-Maß drückt im wesentlichen die Anzahl und Häufigkeit der **stärkeren** Stürme aus (Kennziffern 7 bis 9). Bis 1871 sind die Grundlagen für **u** zweifelhaft. — Die Prognose der **R**-Kurve bis 1947 ist von KIEPENHEUER nach WADDMEIERS Methode gegeben.

der gerade die größte Fleckengruppe seit 1873 zu sehen war. Etwa zwei Wochen lang, während diese Flecken-Gruppe sich vom Ost- zum Westrand der Scheibe hinüberdrehte, hielt das Rauschen von morgens bis abends an. Einmal aber nahm es sprunghaft auf das Hunderttausendfache seiner Intensität zu, und eine Viertelstunde später wurde die vorhin erwähnte Eruption sichtbar. Offenbar war also das Gebiet der Flecken-Gruppe ein starker Sender elektromagnetischer Wellen, von denen die 2-m-Wellen hier zum ersten Mal direkt empfangen wurden, während die anderen, von der Luft absorbierten Spektralteile dieser Strahlung bisher nur indirekt erdmagnetisch und ionosphärisch nachgewiesen worden waren; und die Eruption brachte eine ungeheure Zunahme dieser Strahlung, schon ehe sie sichtbar wurde. SIR EDWARD APPLETON gab diese wichtige Entdeckung über den britischen Rundfunk bekannt (21).

14. Blicken wir zum Schluß wieder auf GAUSS zurück, um die geistige Haltung zu kennzeichnen, die diese Entwicklung ermöglicht hat: Vor 100 Jahren war vom Erdmagnetismus die Deklination *praktisch* am wichtigsten, für die Anwendung des Kompasses durch Seefahrer, Geodäten, Markscheider im Bergbau. GAUSS betont aber, daß man *„dieser materiellen Rücksichten"* wegen die Beobachtungen nicht etwa auf die Deklination beschränken dürfe, vielmehr hätten *„die anderen Bestimmungsstücke der erdmagnetischen Kraft dieselben Ansprüche auf die Thätigkeit der Beobachter"*, denn, wie er es in klassischer Weise ausdrückt:

„Das Aufsuchen der Gesetze in den Naturerscheinungen hat für den Naturforscher seinen Zweck und seinen Werth schon in sich selbst, und ein eigenthümlicher Zauber umgibt das Erkennen von Maass und Harmonie im anscheinend ganz Regellosen."

Literatur.

1. S. CHAPMAN und J. BARTELS, „Geomagnetism." 2 Bde. Oxford Univ. Press 1940. — 2. J. A. FLEMING, Physics of the Earth, VIII, Terrestrial Magnetism and Electricity. New York 1939, McGraw Hill. — 3. E. SCHERING, Abhandl. Ges. Wiss. Göttingen, **34** (1887). — 4. E. WIECHERT in der Festschrift „Die physikalischen Institute der Univ. Göttingen", Leipzig 1906, Teubner. — 5. AD. SCHMIDT, Bericht über die Tätigkeit Preuß. Meteorol. Inst. Berlin im Jahre 1927. — 6. FR. ERRULAT, Ann. d. Hydrogr. **69**, 377 (1941); **71**, 127 (1943). — 7. S. CHAPMAN, Proc. Phys. Soc. London, **53**, 656 (1941). — 8. E. H. VESTINE, Int. Geodetic Geophysical Union, Assoc. Terr. Magn. Electr., Trans. Washington Assembly 1939. — 9. H. REICH, Angewandte Geophysik für Bergleute und Geologen. 2 Teile. Leipzig 1933/4, Akad. Verlagsges. — 10. M. RÜSSIGER, Magnetische Messungen, im „Taschenbuch d. angew. Geophysik", herausgeg. von H. REICH u. R. ZWERGER. Leipzig 1943, Akad. Verlagsges. — 11. LA COUR, Naturwiss. **30**, 649 (1942). — 12. S. CHAPMAN, „The evidence of terrestrial magnetism for the existence of highly ionized regions in the upper atmosphere". Proc. Phys. Soc. London, **37**, 38 D (1925). — 13. W. DIEMINGER, Erg. exakt. Naturwiss. **17**, 282, Berlin 1938. — 14. W. GROTRIAN, Naturwiss. **27**, 555 und 569 (1939). — 15. J. BARTELS und H. F. JOHNSTON, „Geomagnetic Tides". Terr. Magn. **45**, 269, 485 (1940). — 16. J. BARTELS, „Geomagnetic data on variations of solar radiation, Part I". Terr. Magn. **51** (1946), im Druck; Abh. Akad. Wiss. Berlin, Math.-Naturwiss. Kl. 1941, Nr. 12. — 17. J. BARTELS, H. F. JOHNSTON und N. H. HECK, Terr. Magn. **44**, 411 (1939); **45**, 309 (1940). Vgl. Forsch. u. Fortschr. **15**, 51 (1939); Z. f. Geophys. **17**, 317 (1943). Die in Fig. 6 verwendete Darstellungsart erscheint zweckmäßiger als die frühere Notenschrift. — 18. K. O. KIEPENHEUER, Annales d'Astrophysique, Tome 8, fasc. 3—4 (1945); Über eine langsame Korpuskularstrahlung der Sonne. Fraunhofer-Inst. Freiburg i. Br. (Im Druck) — 19. Naturwiss. **31**, 421 (1943). — 20. Mündlich von Dr. W. R. PIGGOTT mitgeteilt. — 21 Vergl. dazu A. UNSOLD, Naturwiss, **33**, 37 (1946).

Eingegangen am 12. September 1946.

Der Einfluß von Vitamin T auf Körperform und Entwicklung.

Von WILHELM GOETSCH.

Von der Frage ausgehend, was bei den sozialen Insekten die Vielgestaltigkeit der sogenannten „Kasten" oder „Stände" bewirkt, gelang es mir im vergangenen Jahre, neuartige Stoffe von besonderer Wirkung zu entdecken, die sich jetzt unter dem Namen des „Vitamin T-Komplexes" vereinigen ließen. Dies Vitamin T ist die Vorbedingung dafür, daß bei Ameisen die großköpfigen „Giganten" und bei den Termiten die verschiedenen „Soldaten"-Typen mit vergrößerten Schädelorganen entstehen. Ohne diesen Wirkstoff gibt es nur kleinköpfige Arbeiter, die bei den Termiten und auch vielen Ameisen übergangslos neben ihnen vorkommen. Die Wirkung von Vitamin T entfaltet sich jedoch keineswegs zu jeder Zeit und zu jeder Bedingung; es muß in der Nahrung eine Mindestmenge von Stickstoff (Eiweiß) zur Verfügung stehen, und der Wirkstoff muß den Larven zu einer bestimmten sensiblen Phase zugeführt werden. Diese kritische Periode liegt bei Ameisen im mittleren Larven-Stadium, bei Termiten einige Zeit vor der Häutung der Larven von Stadium III—V. Auf diese Weise ist es möglich, daß bei Termiten drei verschieden große, gelegentlich auch verschieden gestaltete Soldaten entstehen, von den Arbeitern derart abweichend, daß man sie ohne Kenntnis der tatsächlichen Vorgänge für andere Arten, Gattungen oder sogar Familien halten würde (GOETSCH 1940, Fig. 24, 27, 33). Es gelang sogar bei einer Termiten-Gattung, die normalerweise *keine* Soldaten ausbildet und daher die „waffenlose" heißt (Anoplotermes), solche Großköpfe künstlich zu erzielen, und dadurch eine Tierform zu schaffen, die es in der Natur nicht gibt (GOETSCH 1940, Fig. 64).

Gewinnen ließen sich Vitamin-Präparate mit derartigen Wirkungen zunächst aus Kerbtieren, besonders Termiten (Präparat „Termitin"). Später zeigte sich, daß nicht ein von Insekten gebildeter hormonartiger Wirkstoff vorliegt, sondern ein Vitamin, das in niederen

Faden-Pilzen oder in Hefen auftritt und im Tierkörper nur abgelagert und gespeichert wird. Besonders reich an diesem Vitamin erwiesen sich Wuchshefen, z. B. Torula utilis, aus der später das Präparat „Torutilin" hergestellt wurde; aber auch verschiedene Mycelien, wie Oidium lactis, Penicillium und Hypomyces-Arten enthielten verhältnismäßig große Mengen des Wirkstoffes. Bei Penicillium notatum überwiegt zunächst allerdings *die* Wirkung, welche diesen Pilz zu einem bakteriostatischen Heilmittel stempelt („Penicillin"): die Hemmung der Zell-Teilung. Wurde dieser Faktor künstlich zerstört, so trat die anregende Wirkung stark hervor, die für Vitamin T charakteristisch ist (Präparat „Penicin"). Ähnlich verhielt sich Hypomyces (Präparat „Hypomycin"), der kürzlich als der Hauptpilz der Blattschneider-Ameisen erkannt wurde (GOETSCH-GRUGER 1942). Damit ist auch verständlich, daß gerade in diesen Pilz-Züchter-Staaten die Form-Unterschiede so groß sind; Pilz-Wirkstoffe und Eiweißnahrung durch die Pilze sind hier ständig kombiniert. Vgl. GOETSCH-GRUGER, Fig. 1.)

Da bei Zusammentreffen von Vitamin T mit passender Nahrung in bestimmten sensiblen Perioden der Ameisen- und Termiten-Entwicklung das Wachstum einiger Organe gleichsam explosionsartig auftritt, tauchte die Frage auf, ob solche *Entwicklungs-Stöße* sich nicht vielleicht auch bei anderen Tieren auslösen ließen.

Diese Frage ist zu bejahen.

Zunächst sprachen Küchenschaben (Periplaneta orientalis, Blattella germanica und Blatta americana) auf Vitamin-T-haltige Nahrung stark an. Der Gesamt-Körper wurde vergrößert (GOETSCH 1946, Fig. 7, 8), und sehr charakteristisch war eine Verbreiterung von Thorax und Kopf, dessen Proportionen sich so verändern ließen, daß sie mit ihren relativ vergrößerten Mandibeln den Soldaten der Termiten entsprechen. Aber auch die Taufliege Drosophila melanogaster ließ sich durch alle Vitamin-T-Präparate beeinflussen. Wie stark die Unterschiede zwischen Tieren mit Vitamin T und ohne diese Wirkstoffe sind (welche die Fliegenlarven normalerweise mit Obstresten aufnehmen), geht aus der Fig. 1 hervor.

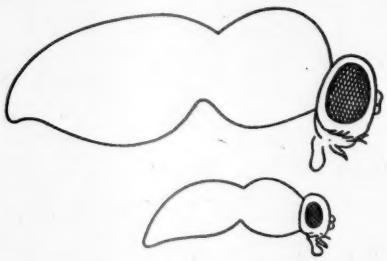


Fig. 1. Taufliege Drosophila melanogaster. Körperumrisse mit Zeichenapparat aufgenommen. Oben Weibchen, Länge 3,4 mm. Erhielt als mittlere Larve sowie als junge, frisch geschlüpfte Imago Entwicklungsstöße durch Vitamin-T-Präparate (Torutilin-Dialysat). Der larvale Entwicklungsstoß ließ Brustabschnitt und Kopf (mit relativ großen Augen), der imaginale Stoß den Hinterleib mit den Keimdrüsen (Ovarien) stark heranwachsen (Hypervitaminose). Unten Weibchen, Länge 1,5 mm. Ohne jede Vitaminzugabe; kleines Tier mit relativ kleinen Augen (Hypovitaminose).

Neben der Gesamtkörpervergrößerung ist besonders auffällig die relative Vergrößerung des Auges, ein Vorgang, der bei Ameisen-Giganten eine Parallele findet, sowie eine starke Vermehrung der Keimdrüsen, welche an die der Termiten-Weibchen erinnern kann (GOETSCH 1946a).

Bei Drosophila ließen sich auch die kritischen Phasen genauer herausarbeiten, die für eine Beeinflussung in Betracht kommen. Es sind dies zunächst die mittleren Larven- (Maden-) Stadien. In ihnen wird die Kopf- und Brustpartie der künftigen Fliege angelegt, und da Vitamin T stets die schon wachsenden Organe beeinflußt, geraten sie in stürmische Entwicklung. Derartiges ließ sich schon bei Ameisen beobachten; die Explosiv-Entwicklung der Soldaten-Larven bei Pheidole war einer der ersten Anlässe, den Einfluß eines Wirkstoffes zu vermuten (GOETSCH 1937). Regt man bei ganz jungen Drosophila-Fliegen unmittelbar nach dem Schlüpfen die gerade wachsenden *Keimdrüsen (Ovarien)* an, so entwickeln *sie* sich zu bedeutender Stärke. Dies kann soweit gehen, daß die Rückenplatten durch die Eierstöcke auseinandergetrieben werden, wie dies ebenfalls bei Termiten- sowie auch Ameisen-Weibchen bekannt ist. Der Erfolg ist dann auch ähnlich; die Nachkommenzahl steigert sich gegenüber den *nicht* mit Vitamin T behandelten Tieren um das 8—10fache (Tab. 1), wobei es gleichgültig ist, ob die Fliegen klein

Tabelle 1. *Steigerung der Nachkommenzahl bei Vitamin-T-Zugabe.*

	Durchschnittl. Zahl der Eier oder Jungen mit	ohne Vitamin T
Fliegen (Drosophila)		
kleine Weibchen	30	3
große Weibchen	32	4
Ameisen (Lasius)		
Weibchen 1944	17	12
Weibchen 1945	19,3	15
Weibchen 1946	21	8
Käfer (Calandra)	5,5	2,0
Mäuse, Erst-Würfe	6,3	3,5

oder groß sind; d. h. ob die Tiere als Larven unter Vitamin-T-Einfluß standen oder nicht.

Eigenartig ist bei all diesen Erscheinungen, daß der Nahrungsbedarf der T-Tiere trotz schnelleren Wachstums und trotz stärkerer Gewichtszunahmen geringer ist als bei den Kontrollen. Bei Heuschrecken-Arten, bei denen ebenfalls Entwicklungs-Stöße ausgelöst wurden, war der verschieden große Nahrungsbedarf besonders gut zu beobachten, wie aus der Fig. 2 hervorgeht. Dies war nur so zu deuten, daß Vitamin T die Assimilation (insbesondere der Eiweiß-Stoffe) anregt und dadurch das Futter besser ausnützen läßt. Die Richtigkeit dieser Vor-

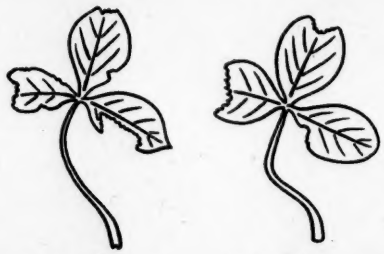


Fig. 2. Eintägige Fraßspuren junger Grillen (Gryllus campestris) an Kleeblättern. Oben von Larvenstadium II, unten von Stadium III. Links Tiere, die vorher Wasser ohne, rechts Tiere, die Wasser mit Vitamin T bekamen. Hier wie überall ist die Nahrungsaufnahme der T-Tiere trotz schnellerer Entwicklung geringer als der ohne T.

stellung konnte durch Versuche mit Hefen und Fadenpilzen erwiesen werden, die unter dem Einfluß von Vitamin T ein stark vermehrtes Vegetativ-Wachstum aufweisen, mit Strudelwürmern, bei denen Regeneration und Teilung (ungeschlechtliche Vermehrung) gewaltig gesteigert wurde, sowie endlich bei Wirbeltieren, auf die wir wegen der sich daraus ergebenden praktischen Folgen etwas ausführlicher eingehen müssen.

Obwohl bei Wirbeltieren innersekretorische Hormone das Wachstum kontrollieren, ließen sich doch mit Vitamin T ebenfalls Entwicklungsstöße auslösen. Am auffälligsten war dies bei der Rückbildung des Kaulquappen-Schwanzes: die Zeit seiner Resorption wurde

um ein Viertel bis ein Drittel verkürzt. Hier zeigte sich die Beschleunigung der Eiweiß-Assimilation ebenso wie in der Aufsaugung des Dottermaterials bei Unkenlarven; die jungen Tiere verließen bei Vitamin-T-Zusatz die Larvenhüllen um einen halben Tag schneller als ohne diese Zugabe (Fig. 3).

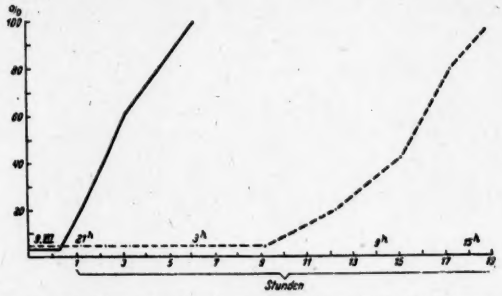


Fig. 3. Entwicklungsbeschleunigung durch Vitamin T bei Larven der Unke (Bombinator pachypus). Bei Vitamin-T-Zusatz zum Wasser verlassen die Tiere die Eihülle schneller und steigen rascher zur Wasseroberfläche auf (ausgezogene Linie). Bei den Kontrollen ohne Vitamin T (gestrichelte Linie) dauert dieser Vorgang 12 Stunden länger.

Mit diesen Feststellungen haben wir bereits zwei kritische Phasen der Amphibien-Entwicklung erwähnt, die für Vitamin T besonders in Betracht kommen; die dritte sensible Periode ist die Zeit, in welcher die Bein-Knospen angelegt werden. Eine Zugabe beschleunigt dann deren Wachstum sowie auch das der Gesamtentwicklung um 10—20 Prozent.

Bei Frosch- und bei Molch-Larven ist für die Zunahme der Assimilation ein sehr schönes objektives Kriterium ein *gesteigerter Lufthunger*. Die Tiere schwimmen auch normalerweise ab und zu an die Wasseroberfläche und schnappen Luft; bei Vitamin-T-Anwesenheit vervielfältigt sich dieser Vorgang. Die sich daraus ergebenden Kurven zeigen dann aufs deutlichste, wie bei T-Zugabe der Luftbedarf steil ansteigt (Fig. 4), und zwar sofort, wenn man Vitamin T zum Wasser zugibt, oder nach etwa 5 Stunden, sofern man es mit der Nahrung

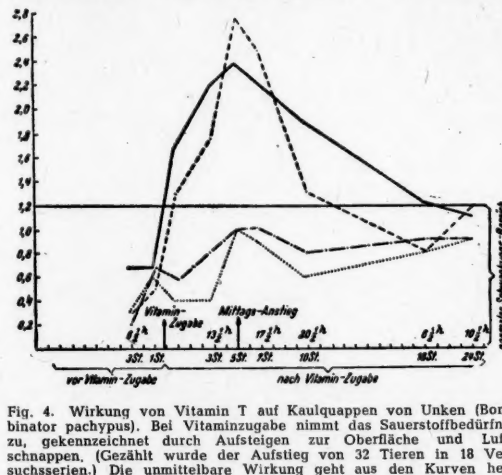


Fig. 4. Wirkung von Vitamin T auf Kaulquappen von Unken (Bombinator pachypus). Bei Vitaminzugabe nimmt das Sauerstoffbedürfnis zu, gekennzeichnet durch Aufsteigen zur Oberfläche und Luftschnappen. (Gezählt wurde der Aufstieg von 32 Tieren in 18 Versuchsserien.) Die unmittelbare Wirkung geht aus den Kurven hervor: . . . . — Wasser ohne jede Zugabe .—.—.—.—. = Aufschwemmung von Hefe-Präparat, dem das Vitamin entzogen worden war. Der Anstieg der Kurven zwischen 12 und 17 Uhr (Sommerzeit) ist durch den erhöhten Sauerstoffbedarf während der warmen Zeit bedingt. — — — — = Wasser mit Zusatz von Torutilin, dem aus Torula utilis gewonnenen Vitamin T. Ausgezogene Linie = Wasser mit Zusatz von Termitin, dem aus Termiten gewonnenen Vitamin T. Ein weiteres Ergebnis des Zusatzes von Vitamin T ist Zunahme des Wachstums und schnellere Entwicklung. Durchschnittslänge zu Kopfbreite der verwandelten Jungtiere:

ohne Vitamin T 10,75 mm : 4,38 mm,
mit Vitamin T 12,50 mm : 5,25 mm

reicht. In diesem Falle muß es erst durch den Darm aufgenommen werden. Regelmäßig ist auch hier der Nahrungsbedarf der T-Tiere geringer als bei den Kontrollen, und Darm- und Kot-Untersuchungen zeigten in der Tat bessere Nahrungsausnützung. Von höheren Wirbeltieren liegen Untersuchungen vor bei Hühnern, die trotz schlechter Nahrung mit Vitamin T sich ebenso gut entwickelten wie die normal ernährten, während die Kontrollen mit schlechter Nahrung ohne den Wirkstoff starben. Weit eindrucksvoller noch waren aber die Ergebnisse bei Säugetieren.

In der Figur 5 sind die Entwicklungskurven von

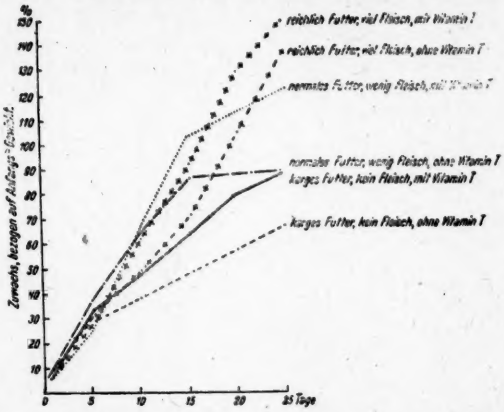


Fig. 5. Entwicklung von Mäusen bei verschiedener Ernährung mit und ohne Vitamin T. Versuche Breslau Dez. 1944—Jan. 1945, insgesamt 24 Tiere. Die normale Fütterung (Grieß, Haferflocken in Milch, Körner, Grünzeug) enthielt alles zum Leben Nötige; Zugabe von Fleisch bedeutet schon ein geringes Mastfutter. Eine Mast-Fütterung mit viel Fleisch ohne Vitamin T entspricht in ihrem Ergebnis einer Normal-Fütterung mit wenig Fleisch und Vitamin T. Ebenso entspricht Normal-Fütterung mit wenig Fleisch ohne Vitamin T im Ergebnis einer kargen Fütterung ohne Fleisch mit Vitamin T.

Tabelle 2. *Günstige Wirkung von Vitamin T auf den Gesundheitszustand.*

	Todesrate mit	ohne Vitamin T
Fliegen (Drosophila), Larven	18 Proz.	56 Proz.
Ameisen (Lasius), überwinternde Weibchen	10 „	33 „
Schmetterlinge: Pieris	20 „	80 „
Antheraea	0 „	70 „
Kröten (Bominator), Larven	15 „	65 „
Hühner, jung, schlecht ernährt	0 „	100 „

Tabelle 3. *Wirkung von Vitamin T auf weiße Mäuse (insgesamt 37 Tiere).*

Gewichtszunahme bis zum 40. Lebenstag (6. Woche = Pubertätsbeginn)
Erreichung eines Gewichts von annähernd 14 g

Nr	Kultur-zahl	Zugabe	Ausgangs-Gewichte 8. Tag I. Wägung	11. Tag I. Zugabe	18. Tag I. Freßtag	Fud-Gewichte 35. Tag 15 Tage nach Freßbeginn	40 Tag 20 Tage	Erreichung des Gewichts von ca. 14 g
a)	Versuche Breslau, Winter 1944/45							
1.	18,24 6 Tiere	—			7,18 g	13,24 g	13,80 g	in 20 Tagen
2.	25 3 Tiere	Arachisöl			7,16 g	13,13 g	14,26 g	in 20 Tagen
3.	19 3 Tiere	Schabenfleisch			6,40 g	13,60 g	14,23 g	in 20 Tagen
4.	20,25 6 Tiere	Vitamin T			7,20 g	13,97 g	15,02 g	in 15 Tagen
b)	Versuche Lenzing, Mai 1946							
5.	B K 5 Tiere	—	8,40 g	4,00 g	6,30 g	12,96 g	13,80 g	in 20 Tagen
6.	B B 1 5 Tiere	Vitamin B 1	3,30 g	3,60 g	6,30 g	13,06 g	13,90 g	in 20 Tagen
7.	F Pr 5 Tiere	Vitamin B 1, B 2, C	3,20 g	4,00 g	5,20 g	11,53 g	14,10 g	in 20 Tagen
8.	EAD 4 Tiere	Vitamin T	3,30 g	3,60 g	5,50 g	13,90 g	15,20 g	in 15 Tagen

Ergebnisse: Das Gewicht von annähernd 14 g wurde erreicht
von 10 Tieren mit Vitamin-T-Zufütterung in 15 Tagen,
von 27 Tieren ohne Vitamin-T-Zufütterung in 20 Tagen.
Zugabe von Vitamin B 1, B 2, C und P bedeutet keinen Vorteil, ebensowenig die Zugabe von Fett oder Eiweiß (Nr. 2 und 3) Das Ergebnis bedeutet eine Futterersparnis von 5 Tagen in 20 Tagen, d. h. die Ersparnis von 1/4 (25 Proz.) der Futterzeit bei Zugabe von Vitamin T.

Mäusen wiedergegeben, welche verschieden ernährt wurden. Bei reichlichem Mastfutter mit viel Fleischzugabe und 0,015 g Vitamin-T-Präparat je Tier pro Tag war die Gewichtszunahme am größten, bei karger Kost ohne Vitamin T am kleinsten. Besonders wichtig scheint aber, daß bei *karger Kost mit Vitamin-Zugabe* der gleiche Erfolg erzielt wurde wie bei *reichlicher Normal-Kost ohne Vitamin T*.

In der Tabelle 3 sind weitere Versuche dargestellt; sie zeigen die Erreichung eines Gewichtes von etwa 14 g. Normal ernährte Tiere dieser Größe haben die rasche Jugendentwicklung hinter sich; die Wachstums-Kurve wird flacher (vergl. Fig. 6), und die Pubertät beginnt. Dies Gewicht von 14 g, das dem Schlachtgewicht unserer Haustiere gleichzusetzen ist, wurde in Versuchsserien mit zwei ganz verschiedenen Mäusesippen zu ganz verschiedenen Untersuchungszeiten bei Zugabe von Vitamin-T-Präparaten in 15 Tagen erreicht, während die Tiere ohne Vitamin T erst nach 20 Tagen an diese Gewichtsgrenze herankamen. Eine Zugabe von anderen Vitaminen, wie B_1, B_2 (= G), C und P hatte ebensowenig Erfolg wie Zugaben von Fett und Fleisch. Für die Tierzucht würde ein solches Ergebnis die Ersparung einer Futterzeit von 25 Proz. bedeuten, d. h. mit anderen Worten, man könnte mit derselben Futtermenge statt vier Tieren deren fünf aufziehen, zumal da auch hier die T-Tiere stets etwas weniger fraßen als die Kontrollen.

Die Figur 6 faßt neueste Versuche zusammen. Besonders wichtig für die Praxis ist hier wieder, daß

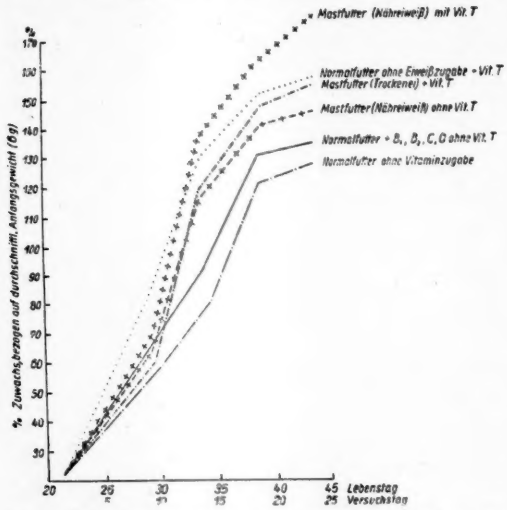


Fig. 6. Entwicklung von Mäusen bei verschiedener Ernährung mit und ohne Vitamin T. Versuche Lenzing Mai—Juli 1946, insgesamt 36 Tiere. Normal-Futter wie bei Fig. 5. Bestes Ergebnis hatte erwartungsgemäß
Mast-Futter mit Nährreiweiß mit Vitamin T (Gewicht 15,8 g)
Normal-Futter mit Trockenei + Vitamin T (Gewicht 15,0 g) entspricht beinahe
Normal-Futter ohne Eiweißzugabe + Vit. T (Gewicht 15,2 g) Weit schlechtere Ergebnisse hatte
Mast-Futter mit Nährreiweiß ohne Vitamin T (Gewicht 14,6 g) Noch geringeren Erfolg
Normal-Futter + Vit. B1, B2 (G), C, P (Gewicht 13,9 g) Hier besteht kaum ein Unterschied gegenüber
Normal-Futter ohne jede Vitamin-Zugabe (Gewicht 13,6 g) Ein Zuwachs über 150 Proz. bis zum 42. Lebenstag wurde nur bei Vitamin-T-Zugabe erreicht, gleichgültig, welche Fütterung vorlag. (Der steilere Verlauf der Kurve 6 gegenüber 5 ist darauf zurückzuführen, daß die jungen Mäuse hier vor völliger Entwöhnung Vitamin T erhielten, bei der Kurve Fig. 5 erst nach Trennung von der Mutter am 20. Lebenstag.)

Normal-Ernährung mit Vitamin-T-Zugabe besseren Erfolg hat als *Mast-Futter ohne Vitamin T*, und weiterhin, daß Zugaben von B_1, B_2 (= G), C und P zwar das Gewicht Normalernährter etwas steigert, aber nie in demselben Maße wie T.

Zu beachten ist hier wie überall, daß Vitamin T *nicht zu jeder* Zeit so guten Erfolg hat. Bei der Zugabe *nach* dem 30. Lebenstag ist z. B. der Zuwachs mit 14,3 g Endgewicht kaum größer als bei Kontrollen ohne oder mit Vitamin B_1, B_2, C und P. Hingegen waren Junge, deren Mutter während der Schwangerschaft Vitamin T erhielt und später nie mehr, ganz besonders schwer; sie wogen am 15. und 20. Lebenstag 6,2 g und 8,6 g gegenüber 5,1 g und 6,4 g der Kontrollen. Sie hatten ferner schon am 26. Lebenstag ein Gewicht von 11,7 g, das die Kontrollen ohne oder mit B_1, B_2 (= G), C und P erst am 35. Tag oder noch später erreichten. Dieser Vorsprung von 9 Tagen, bei 35 Tagen Lebenszeit wieder etwa 25 Proz., ist auch hier darauf zurückzuführen, daß die während der Embryonalzeit in Entwicklung befindlichen Organe besonders gut auf den neuen Wirkstoff ansprechen.

So kommt es endlich auch, daß die menschliche Haut, die ja ein ständig wachsendes Gewebe ist, von Vitamin T ebenfalls angeregt wird. Sonnenbrand verschwindet z. B. schneller und Verwundungen heilen rascher. Das gleiche gilt von Ekzemen, die oft schon nach wenigen Tagen epithelialisierten (vergl. Tab. 4).

Die medizinische Seite des Vitamin-T-Problems, das nach Tierversuchen auch eine Verbesserung des Allgemeinbefindens (größere Lebhaftigkeit und Senkung der Todesrate, vergl. Tab. 4) erwarten läßt, wird jetzt

Tabelle 4. *Heilversuche an menschlicher Haut.*

a) Selbstversuche an Brandwunden. Um möglichst gleichmäßige Wunden zu erhalten, brachte ich mir mittels eines Brennglases (Lupe) ½ cm große Brandblasen an den Oberschenkeln bei (½ Minute Brenndauer), Versuch 3. 6. 1945.

Nr.	Behandlung	Wundblase nach 3 Tagen	Wundblase nach 6 Tagen	Wundblase nach 15 Tagen
1	Lanolin	unverändert	mit roten Rändern	deutlich sichtbar
2	Vitamin-T-Präp. (Termitin)	geht zurück	fast ganz verheilt	erheilt, kaum sichtbar

Behandlung der Haut mit Lanolin und Vitamin-T-Präparaten vor Setzung der Wunden zeigte ebenfalls eine deutliche Beschleunigung der Heilung bei T-Präparat. Wie überall bei Tierversuchen zeigte sich demnach auch hier eine deutliche Zellanregung.

b) Ein jedes Frühjahr unter Einfluß der Sonnenbestrahlung auftretendes Gesichtsekzem wurde 1946 mit Vitamin-T-Präparat (Alkohollösung von Torutilin) behandelt.

Nr.	Behandlung	Heilung des Ekzems
1	— 1934	in 6 bis 8 Wochen
2	Salicyl-Alk. Hautpuder 1945	in 6 bis 8 Wochen
3	Vitamin-T-Präp (Torutilin) 1946	in 1½ Wochen

c) Ein bereits zwei Monate lang mit Pelidol, Borwasser, Sulfonamiden (Marfanil-Prontalbin) und Hautölen (Granuginol u. a.) vergeblich behandeltes stark nässendes Beinekzem von 15×12 cm Ausdehnung gestattete gleichzeitige Behandlung mit verschiedenen Vitamin-T-Konzentrationen (15. bis 25. 7. 1946).

Nr.	Behandlung	Zustand der Wundteile 19. 7.	22. 7.	25. 7.
1	Vitamin-T-Salbe (15. 7. 46)	Heilung im voll. Gang	Wunde epithelisiert	Wunde geschlossen, völlig verschorft
2	Alk. Vit.-T-Präp. stark-proz. 15. 7. 46	Heilung beginnt	Epithelisierung	Wunde geschlossen, Verschorfung beginnt
3a	Alk. Vit.-T-Präp. schwachproz. 15. 7.	kaum Erfolg		
3b	Neue Behandlung mit T-Salbe 19. 7		Heilung im voll. Gang	Wunde geschlossen, Verschorfung.

(Auch innere Behandlung mit Vit.-T-Präparat brachte bei Schwächezuständen bereits Erfolg.)

gemeinsam mit Ärzten in sorgfältiger Beobachtung weiter ausgebaut. Die Bedeutung für die Tierzucht scheint nach den Versuchen mit Säugetieren und Vögeln schon gesichert. Es ist zu hoffen, daß die geplanten Großversuche an Haustieren bald durchzuführen sind. Denn in jetziger Notzeit muß jede Möglichkeit herangezogen werden, die zur Verfügung stehenden Futtermittel gut auszunutzen und so die Fleischproduktion zu steigern, um damit die Eiweißlücke der Ernährung baldigst schließen zu helfen.

Zu diesen Ausblicken für die praktische Anwendung des Vitamins T treten aber auch solche theoretischer

Art, deren Deutung indessen noch nicht immer abgeschlossen ist. Da Vitamin T das Wachstum beschleunigt, und bei Wirbeltieren die Thymus-Drüse ebenfalls mit dem Wachstum zu tun hat, mußte der Gedanke auftauchen, ob hier nicht Zusammenhänge bestünden. Einen Verdacht ähnlicher Art hatte bereits *Hammar* ausgesprochen (1937); er meinte, daß der Thymus der Träger des Wachstums-Vitamins B_2 sei, das bekanntlich von den amerikanischen Forschern als Vitamin-G-Komplex bezeichnet wird. Leider gehört der Thymus noch zu den recht wenig untersuchten Hormon-Drüsen; fest steht jedoch, daß ein Wirkstoff abgeschieden wird, der in der *Jugend* Aufgaben zu erfüllen hat (Wachstum allgemein, besonders das der Knochen). Mit etwa 15 Jahren verschwindet diese innersekretorische Drüse beim Menschen. Neuere Untersuchungen von BOMSKOV und Mitarbeitern (1940) ergaben nun, daß der Thymus-Wirkstoff *fettlöslich* ist; er regt den Kohlehydrat-Stoffwechsel an und hemmt die Keimdrüsen-Entwicklung. Es scheinen auch Beziehungen zum Hypophysen-Vorderlappen zu bestehen, sowie endlich zur Nebennierenrinde. Bei ihrer Entfernung treten bekanntlich u. a. Kreislaufstörungen auf; die Atmung wird ungünstig beeinflußt und die allgemeine Resistenz herabgesetzt. Die Wirkstoffe der Nebennierenrinde (Cortin und Corticosteron) beeinflussen nach VERZAR u. a. (1940) tatsächlich den Stoffwechsel günstig, aber hauptsächlich den des Fettes und besonders der Kohlehydrate, so daß eher ein Zusammenhang mit dem B-Komplex (B_1, Aneurin u. a.) anzunehmen ist als mit Vitamin T. Die bisher bekannten Faktoren des Vitamin B (einschließlich G und P) haben nämlich, wie auch die angeführten Versuche sowie Tab. 2 und 3 zeigen, mit Vitamin T nichts zu tun, und die Fettlöslichkeit des Thymus-Hormons sowie die ungünstige Beeinflussung der Keimdrüsen sprechen ebenfalls dagegen. Regt doch T gerade die Gonaden an (Tab. 1). und ist nur in Wasser oder schwächeren Alkoholen löslich, nicht aber in Fetten. Dem Vitamin-B-Komplex wurden einige weitere Stoffe zugerechnet oder angeschlossen, deren Stellung z. T. noch etwas unklar ist (ABDERHALDEN 1944). Für uns hier sind die von Wichtigkeit, die als Wachstums-Faktoren bekannt wurden, wie z. B. die *Pantothen-Säure,* von der nur die linksdrehende Form wirksam ist, und zwar bei Ratten und bei Hefezellen. Neuerdings ist eine weitere Verbindung ähnlicher Art, die *p-Aminobenzoe-Säure,* festgestellt und als *Vitamin H* bezeichnet worden. Sie hebt den hemmenden Einfluß von Sulfonamiden auf, worauf bereits bei der Bedeutung von Darmsymbionten als Eiweißquelle und als Vitaminspender hingewiesen wurde (GOETSCH 1946). Ähnlich in ihrer Wirkung ist allem Anschein nach die als *Biotin* bezeichnete Verbindung. Endlich sei noch darauf hingewiesen, daß meine Schüler G. FRÖBRICH und K. OFFHAUS bei ihren Untersuchungen über den Einfluß der Hefe-Wirkstoffe auf das Wachstum der Insekten auf einen Faktor x stießen, der weder mit den bekannten Vitaminen noch mit den Bios-Faktoren identisch ist, wohl aber für die Entwicklung der untersuchten Kerbtiere benötigt wurde.

Eine Gleichsetzung des Vitamin-T-Komplexes mit all den angeführten Wirkstoffen war demnach bisher nicht möglich, wobei noch folgendes zu bedenken ist: überall in meinen Versuchen ging die Entwicklung der Kontrollen bei Vorhandensein der bekannten Vitamine ungestört vor sich; jeder Zusatz von Vitamin T bedeutete jedoch eine *Beschleunigung* der Vorgänge. Es ist demnach, wenn wir Vorgänge aus der Technik heranziehen wollen, etwa dem Kompressor eines Autos zu vergleichen, das auch *ohne* diesen Beschleuniger funktioniert. Vitamin T erweist sich damit als ein *Über-Vitamin,* und könnte vielleicht als *Supra-Vitamin* bezeichnet werden (da der Name Hypervitaminose ja bereits vergeben ist), sofern sich in der Folgezeit nicht sogar die Notwendigkeit ergibt, einen besonderen Fachausdruck (etwa „Exitatine") dafür zu prägen.

Diese Besonderheit des Vitamin-T-Komplexes ließ den Gedanken auftauchen, ob solche Übervitamine nicht bei der *Formgestaltung der Organismen* eine größere Rolle spielen als man bisher annahm; erinnern doch die sprunghaften, oft explosionsartigen Veränderungen der Insekten sowie das Fehlen von Übergängen zwischen Extrem-Formen immer wieder an manche *Vererbungsvorgänge,* für die man sie z. T. auch früher gehalten hat. Daß sie auf Außenbedingungen zurückzuführen sind, wurde eindeutig erst vor einigen Jahren bewiesen (GOETSCH 1937): Um das *Ausmaß* dieser auf Außenbedingungen beruhenden Veränderungen zu kennzeichnen, habe ich schon früher den Namen *Groß-Modifikation* vorgeschlagen (GOETSCH 1943). Eine solche besondere Kennzeichnung war deswegen nötig, da es *neben* diesen nur zu besonderen kritischen Perioden auslösbaren Veränderungen auch noch *Normal-Modifikationen* gibt, die sich über längere Zeiträume erstrecken. So sind z. B. körnersammelnde Ameisen (Messor structor) an den Alpen-, Pyrenäen- und Balkan-Rändern kleiner als im eigentlichen Mittelmeer-Gebiet. Trotzdem gibt es in solchen Staaten typische großköpfige Soldaten, die aber kaum die Länge der Arbeiter aus besser gestellten südlicheren Staaten erreichen. Die allgemeine Verkleinerung sämtlicher Nestgenossen der nördlichen Staaten ist auf klimatische Bedingungen zurückzuführen (= Normal-Modifikation), die Entstehung der Soldaten auf Vitamin-T-Zufuhr zu geeigneter sensibler Phase (= Groß-Modifikation). Die Unterschiede sind übrigens nicht nur morphologischer, sondern auch physiologischer und psychologischer Art: die Soldaten zeigen größere Widerstandskraft, sowie auch ein anderes Verhalten. Beides hat nun für die Messor-Staaten, die durch umfangreiche Sammlungen in Spanien, in Italien, auf der Balkan-Halbinsel und in Marokko sehr genau analysiert werden konnten, einen *Selektions-Wert;* die Messor vermögen nämlich Wüstengegenden zu besiedeln, die anderen Ameisen verwehrt sind. Die großen, gegen Trockenheit recht unempfindlichen, aber wenig arbeitssteten Giganten (Soldaten) stellen stets die ersten Erkunder und die ersten Sammler. Auf ihren Alarm hin vermögen dann die viel weniger geschützten, aber sehr arbeitssteten Arbeiterinnen eine gefundene Futterquelle in kürzester Zeit auszunutzen. Ähnliches gilt für die Blattschneider-Ameisen, welche auf diese Weise weit in die Trocken-Steppe Ost-Patagoniens vorzudringen vermögen. Bei ihnen ließ sich übrigens noch ein weiterer Selektions-Wert für die Giganten feststellen. Die Eidechse Liolaemus goetschi frißt vorzugsweise Ameisen (Forelius, Dorymyrmex-, Solenopsis-Arten). Sie nimmt, wie Magenuntersuchungen zeigten, auch in weitem Maße kleine Arbeiterinnen von Acromyrmex striatus und lobicornis auf, niemals aber Giganten; diese werden wegen ihrer starken Bestachelung verachtet. Auch hier erweist sich demnach der Entwicklungsstoß durch Vitamin T als nützlich. Einiges spricht dafür, auch bei Wirbeltieren Veränderungen mit Selektionswert annehmen zu dürfen. Vitamin-T-Zugaben zur Embryonal- oder Jugendzeit hatten bei Mäusen ein dichteres weicheres Haarkleid zur Folge, das gegebenenfalls von Vorteil sein dürfte. Daß auch das Gegenteil der Fall sein kann, zeigten frühere Versuche mit haarlosen Mäusen, die den Befall von Ungeziefer besser überstanden als die Normal-Geschwister (GOETSCH, MANAGUA 1934). Aber auch *Veränderungen des Verhaltens* sind anzunehmen, die wir ja schon von bestimmten Hormonzugaben kennen. So fiel bei Kaulquappen und bei Mäusen immer wieder die größere Lebhaftigkeit der Vitamin-T-Tiere auf, und ein unbeabsichtigter Versuch zeigte deren Nützlichkeit. Bei einer Zucht mit

Mangelkost kam es zu Kämpfen, mit dem Ergebnis, daß innerhalb eines Tages unter sechs Tieren lediglich zwei junge Weibchen am Leben blieben, die bis dahin Vitamin T erhalten hatten. Durch Auffressen der Getöteten und die dadurch bedingte Aufnahme größerer Eiweißmengen erhielten dann diese Tiere einen plötzlichen Gewichtszuwachs von 23 Proz. in einem Tag. Dies erinnert ein wenig an die Vorgänge bei Termiten- und Ameisenlarven, welche durch ähnlichen plötzlichen Zuwachs eine Großmodifikation in Richtung zum Gigantismus erleiden.

Wie bei Insekten eine Großmodifikation in Verbindung mit echten Vererbungsvorgängen nützlich werden kann, sei an einem letzten Beispiel gezeigt. Bei Colobopsis-Ameisen haben die Weibchen eigentümlich abgestutzte große Köpfe. Diese erbliche Mutation ist für die Weibchen selbst wertlos. Der Masse der Arbeiterinnen *fehlt* diese Bildung. Daß die *Anlage* dafür aber vererbt ist, zeigen die gelegentlich auftretenden Großtiere (Soldaten). Hier erweist sich der veränderte Schädel nun als günstig: diese Soldaten vermögen mit ihm die engen Eingangslöcher zu den Nestern förmlich abzustöpseln (GOETSCH 1937, Fig. 22).

Da die Soldaten-Bildung, wie wir jetzt wissen, durch Vitamin T ausgelöst wird, haben wir es hier demnach mit einer erblichen Veränderung (Mutation) zu tun, die aber zu ihrer Auslösung eines Groß-Modifikators bedarf; sonst wird sie, wie die Kleinarbeiterinnen der Colobopsis zeigen, nicht verwirklicht. Daß derartiges öfter vorliegt, lehrt die schon eingangs erwähnte Entstehung der früher nie aufgetretenen Anoplotermes-Soldaten, deswegen bisher unbekannt, weil zu ihrer Verwirklichung das realisierende Vitamin T notwendig war.

Damit scheinen die Soldaten der Termiten und mit gewissen Einschränkungen auch die der Ameisen eine Art Modell zu liefern für Vorstellungen, die sich in neuerer Zeit Paläontologen über die Entstehung größerer systematischer Typen im Laufe der Erdgeschichte bildeten. So betont SCHINDEWOLF (1944) in der Diskussion, die z. T. in den „Naturwissenschaften" (1941 bis 1944) ausgetragen wurde, immer wieder, daß zwar eine Aufsplitterung und Ausdifferenzierung durch Mutation oft kleinsten Stils erfolgt; die Entstehung bedeutenderer Typen erfolgt nach ihm aber in so großen Schritten, daß zwischen ihnen keine Übergänge erkennbar sind. Diese explosive Typen-Entstehung (wobei Typus nicht als systematische Einheit, sondern als Ordnungs-Begriff zu verstehen ist), erfolgt nach ihm dadurch, daß schon in frühen ontogenetischen Stadien die Entwicklung in bestimmter Linie festgelegt wird. Das Endergebnis wäre ein Organismus, der mit dem auf bisherige Weise gebildeten nur geringe Ähnlichkeit besitzt und damit eben übergangslos neben ihm steht.

Wenn wir nun Termiten-Soldaten und Termiten-Arbeiter nebeneinander betrachten und nicht wüßten, daß sie aus Eiern derselben Mutter stammten, so würden wir sie nie als ein und dieselbe Art, ja nicht einmal als dieselbe Gattung oder Familie ansehen. Wir würden auch dann, wenn sie uns als Reste aus einer früheren Erdperiode vorlägen, vergeblich nach Übergängen suchen; denn solche gibt es eben nicht, da die frühlarvale Explosiv-Entwicklung nur ein „Entweder-Oder" kennt. Daß daneben dann noch Aufsplitterungen durch Mutation kleinsten Stils auftreten, zeigen die vererblichen Färbungen und Fleckungen der Pheidole-Ameisen (GOETSCH 1937, Fig. 83), die durch alle so ganz verschiedenen Form-Typen der geflügelten Königin, der flügellosen Arbeiter und der natürlicherweise ebenfalls übergangslos neben ihnen stehenden Soldaten hindurchgehen. Diese vererblichen Unterschiede werden hier durch die Groß-Modifikation gleichsam mitgeschleift, da sie eben auf anderen Ursachen beruhen.

Die frühzeitige, die Ontogenese in bestimmter Richtung treibende Explosiv-Entwicklung der Soldaten erfolgt hier, wie wir sahen, unter dem Einfluß des Vitamin T, wird also *von außen* bestimmt. Darum können wir vorläufig nur von einem *Modell* sprechen, so wie dies SCHINDEWOLF übrigens auch bei den Groß-Mutationen des Lebermooses Marchantia und des Löwenmaules Antirrhinum tut. (BURGEFF 1941 und STUBBE, v. WETTSTEIN 1941, s. SCHINDEWOLF.) Da wir aber jetzt von KUHN und seinen Mitarbeitern (1939) wissen, daß auch die *Gene* Wirkstoff-Charakter besitzen, wird hier vielleicht eine neue Brücke zwischen den einzelnen Disziplinen geschlagen, die sich mit dem Grundproblem der Biologie, der Formgestaltung der Organismen, zu beschäftigen haben. Die Diskussion über diese Grundfragen, in die das Entwicklungsgeschehen unter dem Einfluß des Vitamins T hineinragt, könnte natürlich noch weiter ausgeponnen werden, wozu aber hier der Raum fehlt. Wir geben daher nur noch einmal zum Abschluß eine Zusammenfassung der theoretischen Ergebnisse, die sich auf den neuen Wirkstoff beziehen:

Vitamin T, das durch Verbesserung der Eiweiß-Assimilation alle möglichen Organe zu gesteigertem, oft ganz extremen Explosiv-Wachstum anregt, vermag dadurch als ein *Groß-Modifikator* zu wirken. Solche Groß-Modifikationen stehen als stoßweise *Entwicklungs-Beschleuniger* neben den gewöhnlichen meist längere Zeit wirkenden Umwelt-Einflüssen. Sie haben mit den vererbbaren Mutationen gemeinsam die *sprunghafte Auslösung neuer Formen*, die oft übergangslos nebeneinander stehen. Sie vergrößern damit die *Formenfülle* und vermehren so die *Selektions-Möglichkeit*.

Forschungsstelle Krumpendorf (Kärnten).

Eingegangen am 4. September 1946.

Literatur.

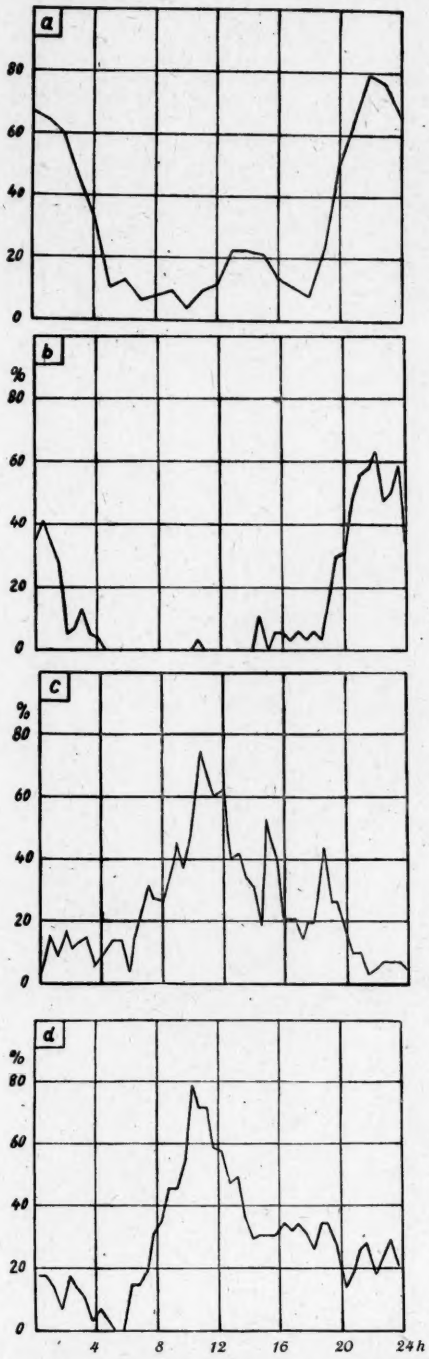
ABDERHALDEN, E., Lehrbuch der physiologischen Chemie (1944). — BOMSKOV, Ch., und SLADOVIC, L., Entstehung, Darstellung und Wirkung des Thymus-Hormons. Deutsch. Chir. Zeitschr. 253 (1940). — BOMSKOV Ch., und BRACHAT, Fr., Bildung und Transport des Thymus-Hormons im Organismus. Endocrinol, 23 (1940). — BOMSKOV, Ch., und KUCKES, G., Über die Wirkung des Thymus-Hormons auf Kaltblüterlarven. Pflügers Arch. 244 (1940). — FROBRICH, G., Untersuchungen über Vitaminbedarf u. Wachstumsfaktoren bei Insekten, Z. vergl. Phys. 27 (1939). — GIERSBERG, H., Hormone. Fortschr. d. Zoologie, 1940 folg. — GOETSCH, W., Die Staaten der Ameisen, Verständl. Wiss. 33 J. Springer (1937). — GOETSCH, W., Die Staaten argentinischer Blattschneider-Ameisen, Zoologica 96 (1939). — GOETSCH, W., Vergleichende Biologie der Insektenstaaten, Leipzig, Akad. Verl. Ges. (1940) (dort weitere Literaturhinweise). — GOETSCH, W., Forschungsreisen zum Studium der Insektenstaaten, Jen. Zeitschr. f. Naturwissenschaften (1942). — GOETSCH, W., Beiträge zur Biologie spanischer Ameisen; „Eos" Rev. esp. de Entomologia, 18 (1942). — GOETSCH, W., u. GRUGER, R., Pilzzucht und Pilznahrung staatenbildender Insekten; Biologia generalis 16 (1942). — GOETSCH, W., Termiten-Bauten und Termiten-Verbreitung in verschiedenen Landschaften; Petermanns Geogr. Mitteilg. (1943). — GOETSCH, W., Darmsymbionten als Eiweißquelle und als Vitaminspender. Österr. Zool. Zeitschr. 1 (1946). — GOETSCH, W., Vitamin T, ein neuartiger Wirkstoff. Österr. Zool. Zeitschr. 1 (1946). — GOETSCH, W., Der Einfluß von Vitamin T auf Gestalt und Gewohnheiten von Insekten, ebenda (im Druck). — GOETSCH, W., Der Einfluß von Vitamin T auf Wirbeltiere, ebenda (im Druck). — HAMMAR, I. A., Thymus als Vitamin-B-Träger. Zeitschr. Mikros. Anat. Forschung, 42 (1937). — KUHN, A., Vererbungslehre (1939). — OFFHAUS, K., Einfluß der wachstumsfördernden Faktoren auf die Insektenentwicklung unter besonderer Berücksichtigung der Phytohormone, Z. vergl. Phys. 27 (1939). — SCHINDEWOLF, O. H., Zum Kampf um die Gestaltung der Abstammungslehre (dort weitere Literaturhinweise), Naturwiss. (1944). — VERZAR, Die Funktion der Nebennierenrinde. Basel (1939).

Kurze Originalmitteilungen.

Zwei Arten der abnormalen E-Schicht.

Die abnormale E-Schicht, die bekanntlich in einer plötzlichen, von Ort zu Ort stark verschiedenen Erhöhung der Ionisierung in der E-Schicht besteht, ist, was ihre Entstehungsursache anlangt, noch weitgehend ungeklärt[1]). Von verschiedenen Seiten wurde bereits darauf

hingewiesen, daß offensichtlich ein wesentlicher Unterschied zwischen der abnormalen E-Schicht, wie sie in mittleren Breiten beobachtet wird und derjenigen in hohen Breiten besteht. Sehr deutlich geht das aus einem Vergleich von Beobachtungen in Tromsö und Oslo hervor, der für das 2. Halbjahr 1944 von L. WINTER durchgeführt wurde. In Oslo weist die abnormale E-Schicht einen ähnlichen täglichen und jahreszeitlichen Gang auf wie in mittleren Breiten. In Tromsö ist dagegen der tägliche Gang gegenüber dem in Oslo geradezu gegenläufig.



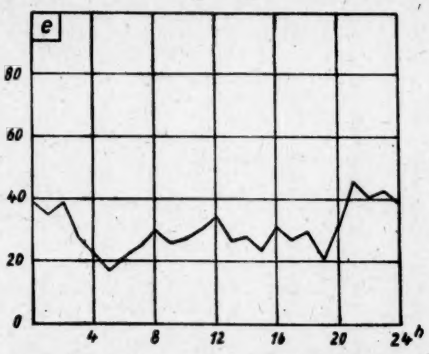


Fig. 1. Sept. 1944. Tagesgänge der Monatsmittelwerte.
Kurve a: Magnetische Aktivität Tromsö ($\Sigma K_1 > 2$
„ b: Häufigkeit abn. E Tromsö in %
„ c: Häufigkeit abn. E Oslo in %
„ d: Häufigkeit abn. E Kochel in %
„ e: Stündl. magn. Kennziffern Vöslau ΣK

Der jahreszeitliche Gang weist ebenfalls einen wesentlich anderen Charakter auf.

Ein typisches Beispiel ist in Fig. 1 wiedergegeben. Hier sind für Sept. 1944 in Abhängigkeit von der Tageszeit die Prozentzahlen der Beobachtungstermine aufgetragen, in denen die Grenzfrequenz der abnormalen E-Schicht 4 MHz überschritt. Kurve b) gilt für Tromsö, Kurve c) für Oslo und Kurve d) für Kochel. Die Übereinstimmung zwischen Kochel und Oslo ist weitgehend. Das Maximum liegt in beiden Fällen gegen 10.30 Uhr MEZ. Nachts ist die Häufigkeit wesentlich geringer als während des Tages. Ganz im Gegensatz dazu zeigt Tromsö die größte Häufigkeit nachts und ein Minimum in den Tagesstunden. Aufschlußreich ist der Vergleich mit 2 weiteren Kurven, nämlich der erdmagnetischen Störtätigkeit in Tromsö (a) und den erdmagnetischen Kennziffern in Vöslau bei Wien (e). Die Kurve a zeigt in willkürlichem Maßstab die Monatsmittelwerte der stündlichen erdmagnetischen Kennziffern größer als 2, die in Tromsö beobachtet wurden; die Kurve e die Monatsmittelwerte der stündlichen erdmagnetischen Kennziffern einschl. 1 und 2, die in Vöslau bei Wien beobachtet wurden. Kurve e ist charakteristisch für ganz Mitteleuropa. Während zwischen den erdmagnetischen Kennziffern in Vöslau einerseits und der abnormalen E-Schicht in Oslo und Kochel andererseits keinerlei Zusammenhang zu bestehen scheint, ist der Gleichlauf zwischen erdmagnetischer Störtätigkeit und abnormaler E-Schicht in Tromsö unverkennbar. Das stimmt auch mit der Erfahrungstatsache überein, daß in Tromsö magnetische Aktivität, die dort gleichbedeutend mit Auftreten von Nordlicht ist, praktisch immer mit einer Ionisierungszunahme in der E-Schicht verbunden ist. Ganz ähnlich sind die Ergebnisse in den anderen Mo-

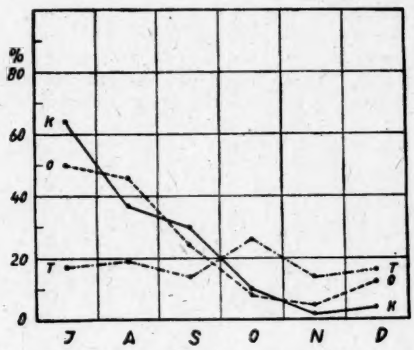


Fig. 2. Juli—Dez. 1944. Jahreszeitlicher Gang der Monatsmittelwerte
Kurve K: Häufigkeit abn. E Kochel in %
„ O: Häufigkeit abn. E Oslo in %
„ T: Häufigkeit abn. E Tromsö in %

naten, die hier im Interesse der Kürze nicht wiedergegeben sind.

Der jahreszeitliche Verlauf der Häufigkeit des abnormalen E für die Stationen Tromsö, Oslo und Kochel ist in Fig. 2 aufgetragen. Er zeigt in Oslo und Kochel den für mittlere Breiten kennzeichnenden Verlauf mit einem Maximum im Sommer und niedrigen Werten im Winter. In Tromsö ist der Gang wesentlich ausgeglichener mit einem schwachen Maximum im Oktober. Dieses fällt — wie zu erwarten — mit der Jahreszeit größter erdmagnetischer Aktivität zusammen.

Aus diesen Beobachtungen kann man wohl schließen, daß die abnormale E-Schicht in hohen Breiten ursächlich mit den solaren Korpuskelströmen zusammenhängt, die Nordlicht und erdmagnetische Störungen hervorrufen. In mittleren Breiten ist dieser Zusammenhang nicht zu beobachten. Man wird daher hier nach einer anderen Ionisierungsursache suchen müssen. Die Vermutung, daß die im hohen Norden entstehende abnormale E-Schicht nach dem Äquator zu abwandert und daß durch die Zeitverschiebung der Zusammenhang verwischt wird, ist aus mehreren Gründen nicht stichhaltig. Erstens zählt die Lebensdauer von Ionisierungswolken im E-Gebiet infolge der Rekombination nur nach Minuten. Sie würden also niemals eine Wanderung, die Stunden dauert, überleben. Zweitens müßte die Häufigkeit der abnormalen E-Schicht schon aus geometrischen Gründen gegen den Äquator zu abnehmen. Das widerspricht aber den Beobachtungsergebnissen[2]). Drittens hat der Versuch einer Korrelation zwischen abnormaler E-Schicht und erdmagnetischer Aktivität mit beliebiger Zeitverschiebung zwischen beiden zu keinem Ergebnis geführt.

Auch die verschiedene Erscheinungsform der abnormalen E-Schicht deutet darauf hin, daß es sich in beiden Fällen um einen verschiedenen Ionisierungsmechanismus handelt. In mittleren Breiten hat die abnormale E-Schicht meist eine wohldefinierte Höhe von etwa 120 km und die Echos sind scharf begrenzt. Bei der abnormalen E-Schicht in hohen Breiten streut die Reflexionshöhe von etwa 100 bis 160 km, die Echos sind vielfach aufgespalten und ändern Amplitude und Form rasch. Es erscheint gerechtfertigt, diese Erscheinung durch eine besondere Bezeichnung — es hat sich der Name „Nordlicht-E" eingebürgert — zu kennzeichnen. Ob neben diesem Nordlicht-E in hohen Breiten auch die abnormale E-Schicht in ihrer „normalen" Erscheinungsform auftritt, bedarf noch der Untersuchung, ist aber wahrscheinlich. Umgekehrt kann das Nordlicht-E gelegentlich in mittleren Breiten auftreten, nämlich dann, wenn bei heftigen magnetischen Stürmen die Nordlichterscheinungen und die Störungen der Ionosphäre besonders weit äquatorwärts reichen.

Ein ausführlicher Bericht mit weiteren Beobachtungsdaten ist in Vorbereitung.

Fraunhofer (Radio) Institut Lindau, (Harz).
WALTER DIEMINGER.

Eingegangen am 12. Juli 1946.

1) Literatur bei: J. O. BRAND und J. ZENNECK, Schriften der deutschen Akademie der Luftfahrtforschung, Bd. 8 (1944), Heft 1.
2) Bericht in Vorbereitung.

Der Thomsoneffekt der Metalle bei hohen Temperaturen.

Im Bereich tiefer und mittlerer Temperaturen ist der Koeffizient des Thomsoneffektes vielfach gemessen worden. (Zusammenstellung gemessener Werte im Landolt-Börnstein.) Bei den hochschmelzenden Materialien Wolfram, Tantal und Kohle existieren auch Messungen im Glühgebiet bis zu 2200° K.[1]).

Durch das im folgenden beschriebene Verfahren gelingt es, auch im Gebiet höchster Temperaturen bis zum Siedepunkt das Vorzeichen des Thomsonkoeffiezienten zu bestimmen und seine Größenordnung zu schätzen. Beim Stromübergang zwischen zwei sich berührenden Elektroden[2]) entsteht an der Kontaktstelle eine erhöhte Temperatur, wobei wegen Vernachlässigung der seitlichen Wärmeableitung zwischen höchster Temperatur T_m im Kontakt und der am Kontakt liegenden Spannung U folgende Beziehung besteht:

$$U^2 = 8 \int_{T_0}^{T_m} \rho \lambda \, dT \; ^{3)}$$

T_0 bedeutet praktisch die Umgebungstemperatur, ρ den spezifischen Widerstand, und λ die Wärmefähigkeit. U ist leicht meßbar, T_m also stets berechenbar. Wird der Thomsoneffekt mitberücksichtigt, so gilt für T_m mit kleinen Fehlern ebenfalls obige Berechnung.

Die im Kontakt erzeugte Wärme UI (I = Strom) würde sich ohne Vorhandensein eines Thomsoneffektes genau gleichmäßig auf die beiden Elektroden verteilen, bei Vorhandensein eines Thomsoneffektes erhalten die beiden Elektroden etwas verschiedene Anteile der Wärme.

Bei den Versuchen werden die Elektroden, um auf hohe maximale Kontakttemperaturen T_m zu kommen, zunächst unter Strom um etwa $1/\mu$ auseinandergezogen. Es entsteht dann zwischen den Kontakten eine Brücke aus flüssigem Metall, die erst bei weiterem Auseinanderziehen abreißt. (Über die Gesetze dieser Brückenbildung erscheint ein besonderer Bericht.) Die maximale Temperatur in der Brücke kann bis zur Siedetemperatur gesteigert werden.

In der Versuchsanordnung sind die beiden Elektroden je über einen Wärmewiderstand von bekannter Wärmeleitfähigkeit mit einem auf Zimmertemperatur gehaltenen Körper verbunden. Wir betrachten die Temperaturverteilung, die sich beim Fließen eines Stromes stationär einstellt. Die Kontaktstelle (Brücke) selbst, die gegenüber der Ausdehnung der Elektroden als punktförmig zu betrachten ist, befindet sich auf hoher Temperatur. Innerhalb der Elektroden sind, abgesehen von der unmittelbaren Umgebung der Kontaktstelle, keine wesentlichen Temperaturunterschiede vorhanden. Längs des Wärmewiderstandes fällt die Temperatur von der Elektrodentemperatur auf Zimmertemperatur ab. Der Wärmewiderstand war so gewählt, daß die Temperatur der Elektroden nicht über 60° C stieg.

Ohne Vorhandensein eines Thomsoneffektes befänden sich die beiden Elektroden auf genau gleicher Temperatur, mit Vorhandensein des Thomsoneffektes stellt sich zwischen beiden eine kleine Temperaturdifferenz $\triangle T$ ein. Die Temperaturdifferenz war bei den Versuchen von der Größenordnung 1° und wurde durch ein Thermoelement angezeigt. Die genaue Gleichheit der beiden Wärmewiderstände, die für die Messung Vorbedingung ist, wurde dadurch nachgeprüft, daß nach Stromumkehr $\triangle T$ sein Vorzeichen wechseln und gleichen Absolutwert behalten mußte.

Das Hauptergebnis der Messungen ist folgendes: Bei allen untersuchten Metallen wurde mit steigender Temperatur früher oder später eine Temperatur erreicht, bei der der Thomsonkoeffizient negativ wurde und bis zum Siedepunkt negativ blieb. (Negativ bedeutet Verschiebung der Wärme gegen den Strom, also mit den Elektronen.) Das negative Vorzeichen des Thomsonkoeffizienten bei hohen Temperaturen scheint ein allgemeines Gesetz zu sein.

Für den Absolutwert des Thomsonkoeffizienten wurde meist eine Größenordnung von 10^{-4} bis 10^{-5} Volt/Grad errechnet. Es ergaben sich also Werte, die größer sind als jene, die bisher für niedere Temperaturen bekannt sind.

Bei Eisen, Nickel, Kupfer, Silber, Aluminium, Zinn, Zink, Blei, Wolfram, Molybdän, Messing und Manganin trat der Vorzeichenwechsel des Thomsonkoeffizienten schon unterhalb des Schmelzpunktes ein, bei Tantal erst beim Schmelzpunkt selbst.

Berlin, Siemens-Schuckert-Werke.
H. PAETOW.

Eingegangen am 15. Dezember 1944.

1) G. WORTHING, Physic. Rev. 5, 445 (1915).
2) Erster Hinweis auf die Rolle des Thomsoneffektes bei Erwärmung von Kontakten siehe: BETTERIDGE u. LAIRD, The Inst. of Electr. Eng. 82, 625, (1938).
3) H. DIESSELHORST, Ann. Physik. 1, 312 (1900), R. HOLM, D. techn. Phys. der el. Kontakte. Springer 1941.

Die Lichtausbeute elektronenerregter ZnS-ZnSe-Phosphore im Bereich geringer Stromdichten.

Die Helligkeit elektronenbestrahlter Phosphore kann nach LENARD durch die Beziehung $B = Qi\,(V - V_0)^2$ dargestellt werden, wobei B die Helligkeit, i die Stromdichte, V die Erregungspannung, V_0 die Mindesterregungsspannung (etwa 300 Volt) und Q eine Konstante bedeuten. Im allgemeinen beschränken sich die veröffentlichten Messungen[1]) auf den Bereich bis 10^{-7} Amp/cm², (SCHERRER und RUBSAAT).

NOTTINGHAM sagt[2]), daß ein mit der Stromdichte direkt proportionaler Helligkeitsanstieg im Gültigkeitsbereich $i\,(V - V_0)^2 < 5$ herrscht. NOTTINGHAM führte diese Messungen bis 10 kV durch. Von den Verfassern wurden nun Messungen angestellt, um die Helligkeit als Funktion der Stromdichte im Bereich kleinster Stromdichten bei Spannungen von etva 12 kV festzustellen.

Die Messungen wurden derart ausgeführt, daß ein diffuser Elektronenstrahl auf einen technischen ZnS-ZnSe-Phosphor der Leuchtstoff A. G. auf Glasunterlage fiel, dessen Helligkeit mittels eines Pulffrichphotometers bestimmt wurde. Um unerwünschte Aufladungen des Leuchtschirmes zu vermeiden, wurde dieser mit einer dünnen Aluminiumschicht bedampft. Die Strommessungen wurden mit einem Siemens-Supergalvanometer durchgeführt. Im Anschluß an die Messungen wird die lichtelektrische Ausbeute in HK/Watt errechnet. Das Ergebnis der Messungen ist in Fig. 1 und 2 dargestellt.

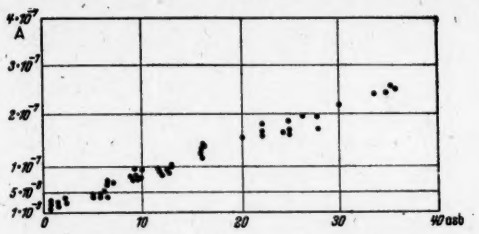


Fig. 1.

Fig. 1. zeigt die Helligkeit als Funktion der Stromdichte; Fig. 2 die lichtelektrische Ausbeute als Funktion der Stromdichte.

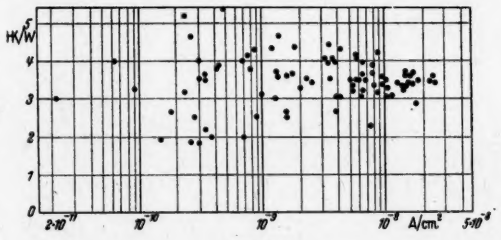


Fig. 2.

Weitere Messungen wurden durchgeführt, um den Übergang zu den Messungen bei höheren Stromdichten zu finden. Dabei ergab sich eine mit zunehmender Stromdichte abnehmende Ausbeute, wie sie bereits von SCHERRER und RUBSAAT angegeben wurde. Der Übergang in den abfallenden Teil ging nicht sprunghaft, sondern stetig vor sich. Es konnte auch bei der Spannung von 10 bis etwa 15 kV der NOTTINGHAM'sche Gültigkeitsbereich bestätigt werden. Da rasch abklingende Leuchtphosphore auch noch nach einiger Zeit eine geringe Leuchtdichte zeigen, was sich bei nachstehend erwähntem Meßproblem störend auswirken kann, wurden Abklingkurven der verwendeten elektronenerregten Leuchtphosphore gemessen. Sie wurden zunächst 30 Minuten mit jeweils veränderter Elektronenstromdichte von 10^{-10} bis 10^{-7} Amp/cm² erregt. Die Spannung wurde während der Versuche konstant gehalten. Nach Abschalten der Spannungsquelle wird weitere 30 Minuten das Nachleuchten mit einem Pulffrichphotometer photometriert. Das Ergebnis dieser Messungen ist in Fig. 3 dargestellt. Es zeigte sich, daß im wesentlichen das Abklingen des Nachleuchtens in den verwendeten Bereichen unabhängig von der erregenden Elektronenintensität war.

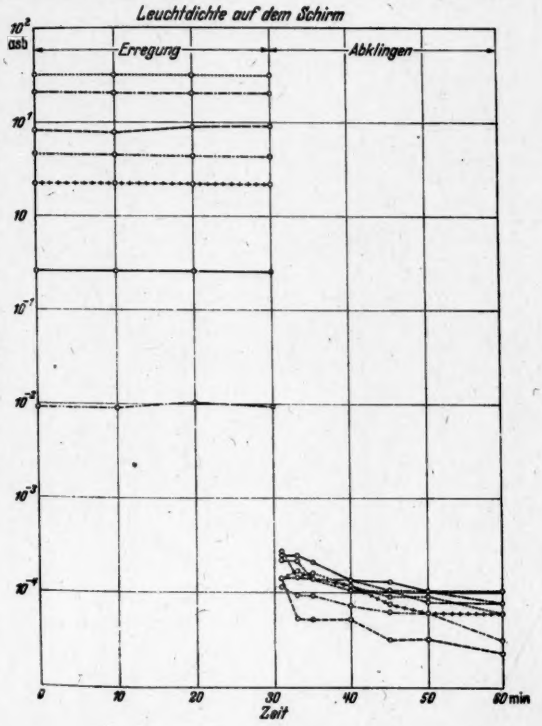


Fig. 3.

Durch vorliegende Messungen kann folgendes Problem meßtechnisch gelöst werden. Oft sind Elektronenströme (Strahlströme) zu messen, die sich bei hohen Spannungen wegen ihrer Kleinheit elektrisch nur sehr schwer erfassen lassen. Man kann ihre Größe auf die Art bestimmen, daß man von einem Leuchtschirm die Lichtausbeute im Bereich meßbarer Stromdichten bestimmt; dabei ist zu beachten, daß man aber im Bereich der konstanten Ausbeute ist und dann auf den gleichen Leuchtschirm den zu messenden Elektronenstrahl fallen läßt, der eine meßbare Leuchtdichte hervorruft. Auf diese Weise lassen sich Ströme bis etwa 10^{-14} Amp/cm² bei den heutigen hochentwickelten Leuchtschirmen messen. Das völlig dunkeladaptierte Auge kann Ströme bis rund 10^{-16} Amp/cm² feststellen, die allerdings in diesem Bereich nicht mehr meßbar sind. Die eben angegebenen Zahlenangaben beziehen sich auf eine Spannung von etwa 12 kV.

Berlin, Forschungsanstalt der Deutschen Reichspost.
W. HEIMANN. F. SCHUH.

Eingegangen am 28. Dezember 1944.

[1]) SCHERER u. RUBSAAT, Arch. f. Elektrotechn. 31, 821, (1937).
[2]) NOTTINGHAM, Phys. Rev. 51, 591, (1937).

Zur Kondensation von aliphatischen Nitrilen mit Estern, Aldehyden und Ketonen[1]).

In einer uns jetzt zur Kenntnis gekommenen Arbeit beschreiben R. LEVINE und CH. K. HAUSER[2]) die Kondensation von Säureestern mit Acetonitril und Propionitril unter Verwendung von Natriumamid als Kondensationsmittel. Natriumamid ist von ZIEGLER und OHLINGER[3]) bei der Alkylierung des Acetonitrils und anderer aliphatischer Nitrile verwendet worden. Gelegentlich der Darstellung substituierter Nitrile haben wir schon 1944 den Befund gemacht[4]), daß das gleiche Kondensationsmittel unter der Berücksichtigung der von

ZIEGLER festgelegten Reaktionsbedingungen auch für die Kondensation aliphatischer Nitrile mit Säureestern geeignet ist. Durchgeführt wurden beispielsweise folgende Kondensationen:

Säureester	Nitril	Reaktionsprodukt	Ausbeute in %
Benzoesäure-methylester	Acetonitril	Phenacylcyanid	83
Benzoesäure-methylester	Propionitril	α-Methyl-phenacylcyanid	30
3, 4, 5-Trimethoxybenzoesäureäthylester	Acetonitril	3, 4, 5-Trimethoxyphenacylcyanid	73
Isobuttersäure-methylester	Acetonitril	Isobutyrylacetonitril	75
Isobuttersäure-methylester	Propionitril	Isobutyryl-propionitril	53
Essigsäureäthylester	Acetonitril	Acetessigsäurenitril	70
Essigsäureäthylester	Propionitril	α-Acetyl-propionitril	57
Hydrozimtsäure-methylester	Acetonitril	γ-Benzyl-acetessigsäurenitril	60

Entsprechend ließ sich eine Reaktion aliphatischer Nitrile mit aromatischen Aldehyden und Ketonen durchführen, die β-Oxynitrile liefert[5]).

Aldehyd, Keton	Nitril	Reaktionsprodukt	Ausbeute in %
Benzaldehyd	Acetonitril	β-Oxy-β-phenylpropionitril	60
Anisaldehyd	Acetonitril	β-Oxy-β-(p-methoxyphenyl)-propionitril	55
Benzophenon	Acetonitril	β-Oxy-ββ-diphenylpropionitril	95
Benzophenon	Propionitril	α-Methyl-β-oxy-ββ-diphenyl-propionitril	80
Zimtaldehyd	Acetonitril	β-Oxy-γ-benzylidenbutyronitril	45

Unter den von ZIEGLER gefundenen Bedingungen sind aliphatische Nitrile also nicht nur der Alkylierung, sondern auch der Esterkondensation und der Kondensation mit Aldehyden und Ketonen befähigt, so daß zur Aktivierung der Methylengruppe nur eine Nitrilgruppe ausreicht, um die gleichen Reaktionen durchführen zu können, die bisher vom Cyanessigester, Malodinitril und Benzylcyanid mit 2 aktivierenden Gruppen bekannt waren. Eine ausführliche Veröffentlichung der Ergebnisse soll in einer chemischen Fachzeitschrift erfolgen.

Organisch-Chemisches Institut der Universität Göttingen.

HANS LETTRÉ, GEROLD MEINERS, HEINZ WICHMANN.

Eingegangen am 14. Oktober 1946.

1) Vorgetragen auf der wissenschaftlichen Tagung der Nordwestdeutschen Chemiker in Göttingen am 21. September 1946.
2) Journ. Americ. Chem. Soc. **68**, 760 (1946).
3) LIEBIGs Ann. d. Chem. **495**, 84 (1932).
4) Diplomarbeit G. MEINERS, Göttingen 1944.
5) Diplomarbeit H. WICHMANN, Göttingen 1944.

Eine weitere Methode zur Isolierung der Subcutis oder Epdiermismembran von Keratinfasern (1).

Nach H. REUMUTH(2) sowie HARRISON(3) befindet sich zwischen Schuppen- und Rindenschicht der Keratinfasern ein histologisch abgrenzbares, flächiges Gebilde, das Subcutis benannt wurde. Neuerdings hat E. LEHMANN(4) eine Isolierung dieses von ihm Epidermismembran genannten Bauelements bekanntgegeben. Sie besteht darin, daß die Keratine mit Formaldehydlösung erhitzt werden, bis sich der Faserstamm aufgelöst hat. Die Epidermismembran bleibt in Form von Schläuchen zurück.

Anläßlich systematischer Untersuchungen über die Einwirkung von Pankreatin auf verschieden behandelte Keratinproben fanden wir, daß nur das d-Keratinabbauprodukt von β-Keratintyp weitgehend verdaulich ist(5). Bei einigen Präparaten bestand der Verdauungsrückstand aus Bruchstücken der Epidermismembran(6). Z. B. lieferte eine dreistündige Erhitzung von Schafwolle mit Formamid auf 120° ein Faserprodukt, welches noch die ganze Schuppenschicht samt der Subcutis enthielt und chemisch nur wenig gegen die unbehandelte Wolle verändert war (7). Nach der Pankreatinverdauung und sorgfältigem Auswaschen erhielten wir ein praktisch aschefreies Produkt in einer Ausbeute von rund 7 % (bezogen auf die unbehandelte Wolle), welche sich mikroskopisch als frei von Spindelzellen erwies, während von dem ursprünglichen Schuppenpanzer nur geringe Reste festzustellen waren. Die Epidermismembran wird daher nicht nur von Formaldehyd in geringerem Ausmaß zerstört als die übrigen Faserbausteine, sondern ist auch gegen die Erhitzung mit Formamid und die anschließende Verdauung resistenter als der Faserstamm. Die Analysendaten[1]) unseres Präparates sind in der Tabelle zusammen mit den entsprechenden Werten für die unbehandelte Wolle aufgeführt:

Tabelle 1. *Elementarzusammensetzung von Epidermismembran (Verdauungsrückstand von Formamidwolle im Vergleich zur unbehandelten Wolle).*

%	Unbehandelte Wolle	Epidermismembran
Asche	0.19	0.18
C	51.60	47.25
H	6.70	6.63
N	16.50	13.38
S	3.78	7-17
O	21.23	25.39
	100.00	100.00

Der höhere Sauerstoff- und besonders Schwefelgehalt fällt auf. Die kalorimetrische Messung des Cystingehaltes ergab zwar einen höheren Wert als für die unbehandelte Wolle, dieser reicht jedoch zur Erklärung des ganzen Schwefelgehaltes nicht aus.

Das Röntgenogramm einer gepreßten Probe der Epidermismembram zeigte die Linien des d-Keratinabbauproduktes vom β-Keratintyp mit Interferenzen bei 9.6, 4.7, 2.2 und 1.6 A. Wenn auch die Linien sehr verwaschen und isotrup sind, so sind sie doch in ihrer Lage mit denen des Keratins identisch, und somit ist das Präparat nicht als röntgenamorph zu bezeichnen. Es ist mit Sicherheit anzunehmen, daß die native Membran ein anderes Röntgenogramm besitzt und daß, wie bei der Hauptmasse des Keratins, durch die Erhitzung mit dem Formamid eine Umwandlung zum d-Keratin stattgefunden hat.

Badenweiler.

E. ELÖD und H. ZAHN.

Eingegangen am 17. Februar 1945.

1. 19. Mitt. über Struktur und Reaktionsfähigkeit der Keratine. — 2. H. REUMUTH, Dissertation, Aachen (1937). — — 3. HARRISSON. Prn. Dyestuhf Rep. **14**, 393 (1938). — 4. E. LEHMANN, Melliand Textilber. **1944**, 1; Koll. Z. **108**, 6 (1944). — 5. E. ELÖD und H. ZAHN, Melliand Textilber. **1945**. 6. H. ZAHN, Melliand Textilber. **1943**, 157. — 7. E. ELÖD und H. ZAHN, Kolloid-Z. **188**, 94 (1944).

1) Die Analysen verdanken wir Herrn Dozenten Dr. E. WIESENBERGER, Heidelberg.

Über ein neues Gerät zur Messung von Reizzeitstromkurven an Nerven.

Zur Untersuchung von Nerven und Nervenschäden benutzt man gewöhnlich Geräte, bei denen der Nerv durch elektrische Ströme gereizt werden kann. Dabei beschränkt man sich im wesentlichen darauf, durch Ein- und Ausschalten eines Gleichstromes die gegebenenfalls vorhandenen Abweichungen vom PFLÜGER'schen Zuckungsgesetz und vielleicht noch von der STINZING'schen Tabelle festzustellen. Exakter läßt sich jedoch der Zustand eines Nerven durch Angabe der für ihn charakteristischen Hauptnutzzeit, Chronaxie und Refraktärzeit kennzeichnen. Ein noch klareres Bild erhält man durch Aufnahme einer ganzen Reizzeitstromkurve und einer entsprechenden Kurve für die Refraktärzeit. Solche exakteren Messungen zur Zustandscharakterisierung vor allem erkrankter Nerven dürften jedoch sowohl für die Diagnose wie auch für die Beurteilung eingeleiteter therapeutischer Maßnahmen von besonderem Wert sein. Insbesondere aber sind derartige Messungen für medizinische und physiologische Forschungen von hohem

Interesse. Bisher für diese Zwecke benutzte Geräte jedoch sind nicht nur hinsichtlich der bei ihnen angewandten Methoden gegenüber den Möglichkeiten, die die moderne Technik bietet, als gänzlich veraltet anzusprechen, sondern liefern in der Regel auch gar keine definierten Stromimpulse durch diejenigen Körperstellen, in die der Nerv eingebettet ist. Das hat seinen Grund in dem Umstand, daß die menschliche Haut elektrisch ein kompliziertes Gebilde ist, das keineswegs auch nur annähernd einen Ohmschen Widerstand, sondern in erster Näherung eine Kapazität von einigen 10 000 bis 100 000 pF mit einem Parallelwiderstand in der Größenordnung von ca. 5000 bis 50 000 Ohm darstellt. Dadurch ist bedingt, daß, selbst wenn mit einem Generator gearbeitet wird, der hinsichtlich seiner *Spannungs*zeitabhängigkeit einen rechteckförmigen Spannungsverlauf regelbarer Zeitdauer besitzt, diese Zeitabhängigkeit für den *Strom* und damit für Vorgänge an Leitungsstrecken im Körper, in die der Nerv eingebettet ist, nicht die Gleiche sein kann. Um zu definierten Spannungszeitverläufen längs eines Nerven zu kommen, muß daher mit Generatoren gearbeitet werden, deren Stromzeitabhängigkeit bei Messungen der Stromflußdauer z. B. einen rechteckförmigen Verlauf hat. Dann erst ist innerhalb des niederohmigen Gewebes des Körpers ein rechteckförmiger Spannungszeitverlauf gegeben, dessen Zeitdauer durch die Stromflußdauer gegeben ist. Der Verfasser hat daher unter Berücksichtigung dieser Umstände ein neues modernes Gerät geschaffen, das Reizzeitkurven an Nerven mit definierten Stromflußdauern aufzunehmen gestattet, und zwar sowohl für Nutz- wie auch Refraktärzeitmessungen. Die einstellbaren Stromflußdauern entsprechen rechteckförmigen Stromzeitverläufen und sind zwischen 0,01 und 20 Millisekunden beliebig wählbar einzustellen. Eine Beschreibung der angewendeten Methoden erfolgt an anderer Stelle.

Institut für angewandte Physik der Universität Kiel.
WERNER KROEBEL.

Eingegangen im Mai 1946.

Über den Stoffwechsel einer thermophilen Blaualge.

Das Temperaturoptimum für das Wachstum von *Oscillatoria geminata* liegt bei 40°, das Maximum (nicht konstant) bei etwa 50°. Überraschenderweise zeigte sich, daß das Plasma, beurteilt nach der Absterbegeschwindigkeit bei noch höherer Temperatur, durchaus nicht hitzeresistenter ist als das der an gewöhnliche Temperaturen angepaßten Pflanzen. Die Zellen starben bei 52° in 12 Minuten, bei 55° in 2 Minuten, bei 60° in 22 Sekunden und bei 65° in 5 Sekunden, also schneller als wir es bei vielen anderen Pflanzen gewohnt sind. Die Wachstumsfähigkeit bei hoher Temperatur ist somit kaum dadurch erklärbar, daß die Koagulationstemperatur des Plasmas durch besondere Ionenzusammensetzung oder Eiweißbeschaffenheit erhöht ist.

Die Assimilation steigt von 20—30° ähnlich wie bei vielen anderen Pflanzen, von 30—40° ist der weitere Anstieg nur gering; es handelt sich also, ähnlich wie es STOCKER bei tropischen Pflanzen fand, im wesentlichen um eine Verbreiterung des Optimums in den Bereich höherer Temperaturen hinein. Trotzdem bleibt die Fähigkeit dieser Blaualge, noch bei 40—50° einen Assimilationsüberschuß zu erzielen, auffällig, weil es sich um eine typische Schattenpflanze handelt, deren Assimilationsoptimum schon bei einer Lichtintensität erreicht wird, die nur 2—5% des vollen Sonnenlichtes beträgt. Einige andere thermophile Blaualgen können (nach unveröffentlichten Beobachtungen auf Java und Sumatra) ihre Assimilation noch bei sehr hohen Lichtintensitäten steigern, sodaß die Erzielung eines Assimilationsüberschusses leichter verständlich wird; allerdings vermögen solche Arten auch noch bei Temperaturen über 60° zu wachsen. Die Wachstumsfähigkeit jener schattenliebenden *O. geminata* bei hohen Temperaturen findet ihre Erklärung in der besonderen Temperaturabhängigkeit der Atmung. Die Q_{10}-Werte sind schon bei mittleren Temperaturen auffällig niedrig: $Q\,\frac{30}{20} = 2{,}2$; $Q\,\frac{35}{25} = 1{,}6$; $Q\,\frac{40}{30} = 1{,}1$. Bei 40° erreicht die Atmung (ebenso wie die Assimilation und das Längenwachstum) ihren Höchstwert, während sie bei anderen Pflanzen, jedenfalls vorübergehend, bis zu Temperaturen von 45 und 50° mit Q_{10}-Werten von 2—3 weiter ansteigt. Bis 40° zeigt die Temperaturabhängigkeit der Atmung eine bei anderen Pflanzen nicht bekannte Ähnlichkeit mit der Temperaturabhängigkeit der Assimilation (beide manometrisch bestimmt, Tabelle 1).

Temperaturbereich	Q_5 der Assimilation	Q_5 der Atmung
20—25°	1,35	1,77
25—30°	1,41	1,22
30—35°	1,06	1,29
35—40°	1,00	1,09
40—45°	0,03	0,54

Diese Blaualge muß also im Gegensatz zu nichtthermophilen Pflanzen durch plasmatische Faktoren, die die an der Atmung beteiligten Stoffdiffusionen zu begrenzenden Faktoren werden lassen, davor geschützt sein, daß die Enzyme mit steigender Temperatur ungehemmt das Reservematerial angreifen können. Hierin muß ein wichtiger Faktor für die Wachstumsfähigkeit dieser Art bei Temperaturen zwischen 40 und 50° gesehen werden.

ERWIN BÜNNING. HEDWIG HERDTLE.

Eingegangen am 20. Januar 1945.

Besprechungen.

EDWIN FELS, **Landgewinnung in Griechenland.** Peterm. Mitt. Erg.-Heft Nr. 242. Gotha, Justus Perthes. 1944. 4 Tafeln mit 7 Karten. RM. 12,—.

In dieser Abhandlung hat der in der griechischen Literatur gut bewanderte Verfasser den Versuch gemacht, die Ende der 20er Jahre begonnenen Unternehmungen der Gewinnung von Kulturboden in Griechenland auf Grund des sonst schwer zugänglichen Quellenmaterials griechischen Ursprungs darzustellen. Den äußeren Anstoß zu solchen Unternehmungen gaben nach der griechischen Niederlage in Kleinasien die Bestimmungen der Lausanner Friedenskonferenz (1923), wodurch sich ein Flüchtlingsstrom von etwa 1,4 Millionen Menschen in das von 5 Millionen Griechen bewohnte griechische Staatsgebiet ergoß. Die dadurch herbeigeführte Zusammenpferchung der Bevölkerung hatte eine katastrophale Verschlechterung der Lebensbedingungen zur Folge. Dies um so mehr als der anbaufähige Boden des Staatsgebiets nur etwa ein Achtel seiner Fläche ausmachte. Die unter diesen Umständen gebotene Planung von Landgewinnungsarbeiten wurden zuerst in der Ebene von Saloniki verwirklicht, wo man 30 000 Bauernstellen schaffen zu können hoffte. Die Arbeiten wurden dort auf Staatskosten einer amerikanischen Firma übertragen, in anderen Teilen Griechenlands einer englischen. Später (1937) hat die griechische Regierung ein Spezialamt für Wasserbauarbeiten in Makedonien eingerichtet. Aber die schon weit geförderten Meliorationen wurden dann durch den Ausbruch des Krieges mit Italien (1940) und die weiteren Kriegsereignisse und Unruhen im Lande unterbrochen. Nur in Makedonien waren sie schon in großen Zügen fertiggestellt. Es ist jedoch anzunehmen, daß manche schon erzielte Landgewinnung wieder in Verfall geraten ist. Auch die Malaria hat aus Mangel genügender hygienischer Maßnahmen bei der Entsumpfung der Niederungen Verbreitung gefunden und hemmend gewirkt. — So kann das, was der Verfasser nun im einzelnen schildert, kein abgeschlossenes und befriedigendes Bild des jetzigen Zustandes des neuen Kulturlandes geben, um so weniger als die literarischen Quellen darüber in der unruhigen Atmosphäre des Krieges und seiner

Folgen nicht greifbar geworden sind. Immerhin muß es für verdienstvoll gelten, daß der Verfasser die geographischen Grundlagen der Kulturarbeiten für die verschiedenen Landesteile näher erörtert und kritisch beleuchtet.

Die Landgewinnung kann sich naturgemäß in größerem Ausmaß nur an ebene Flächen halten, die von Flüssen durchzogen werden. Hier kann durch die Trockenlegung von sumpfigen Niederungen im Schwemmland bestes Fruchtland gewonnen werden, wenn die sommerliche Trockenheit (Mai bis September) durch künstliche Bewässerungsanlagen (Flußregulierungen, Kanäle) überbrückt wird. Die Becken von Makedonien und Thessalien sind dafür am besten geeignet, da hier wasserreiche Flüsse günstige Voraussetzungen für die Feldbewässerung liefern. In Mittel- und Südgriechenland liegen die Verhältnisse wegen der stark periodischen Wasserführung der Flüsse mit sommerlichen Wasserklemmen und orographisch ungünstiger.

Wenn der Verfasser auch betont, daß die bisherigen Leistungen der fraglichen Art sehr beachtlich sind und sich nach seiner Ansicht mit den entsprechenden Arbeiten in Italien wohl messen können, so hinterläßt die Lektüre der Arbeit doch den Eindruck, daß noch sehr viele zeitbedingte Nachteile überwunden werden müssen, ehe das Ziel, Griechenland auf eine bessere, wenn auch nicht autarke Ernährungsbasis zu bringen, erreicht ist, abgesehen davon, daß die politischen Grenzen des Staatsgebiets gerade im Norden noch einer Einengung unterliegen dürften. — Die Abhandlung ist mit einem Schriftenverzeichnis von 83 Nummern versehen, die vor allem griechisches Schrifttum angeben. Die beigegebenen Karten sind leider nur skizzenhaft ohne Reliefzeichnung.

W. Meinardus.

RUD. RICHTER, **Einführung in die Zoologische Nomenklatur durch Erläuterung der Internationalen Regeln.** — 154 S., Frankfurt a. M., Senckenbergische Naturforsch. Gesellschaft. 1943.

Seit 1758 die Editio Decima des „Systema naturae" von LINNÉ erschien, besteht die noch heute gültige binäre Nomenklatur des Tier- und Pflanzenreiches. Aber erst seit dem 5. Internationalen Zoologischen Kongreß in Berlin 1905 gibt es verbindliche, von den Zoologen und Paläozoologen aller Welt anerkannte Nomenklaturregeln (die Botaniker haben auch heute noch eigene Regeln). Ihre Brauchbarkeit liegt freilich nicht immer gleich auf der Hand, und ein bekannter Systematiker äußerte einmal ironisch (wie STROMER berichtet), daß die Artbenennung *Homo sapiens* zwar nach den Nomenklaturregeln zweifellos voll berechtigt sei, nicht aber ihrem Sinne nach, wenn man deren Anwendung in Betracht ziehe. In der Tat hat ihre buchstabengetreue Durchführung mit den strengen Prioritätsvorschriften manche recht unglückliche und unnötige Namensänderungen zur Folge gehabt, die einzelne seit vielen Jahrzehnten gebräuchliche, in zahllosen Veröffentlichungen verwendete Namen verschwinden ließ oder jedenfalls verschwinden lassen müßte (*Nummulites* usw.; auch der berühmte Urvogel *Archaeopteryx* heißt eigentlich zu Unrecht so). Man hat daher später (auf dem Kongreß zu Monaco, 1913) für bestimmte Fälle Ausnahmen vorgesehen, die eine zu starre und schematische Anwendung der Regeln verhindern. Im ganzen aber erwies sich ihre Einführung als außerordentlich nützlich, und insbesondere haben sie für alle neueren systematischen Arbeiten von vornherein die unerläßliche einheitliche Grundlage geschaffen. So ist es sehr verdienstvoll, daß Rudolf RICHTER — seit Jahren mit diesen kniffligen Fragen vertraut und seit 1930 Mitglied der Ständigen Internationalen Kommission für Zoologische Nomenklatur — eine ausführliche und erschöpfende Einführung dazu gegeben hat. Sie ist für Zoologen wie Paläontologen gleichermaßen nützlich und stellt mit ihren zahlreichen erläuternden Beispielen einen unbedingt zuverlässigen Wegweiser durch die vor allem für Nichthumanisten nicht immer leicht zu meisternde Fülle der nomenklatorisch möglichen Fälle dar.

M. SCHWARZBACH.

Tagesnotizen.

60. Geburtstag von R. Seeliger.

Am 12. November 1946 feiert R. SEELIGER seinen 60. Geburtstag. Schüler von A. SOMMERFELD, habilitierte er sich 1915 in Berlin, um dann 1918 nach Greifswald überzusiedeln, wo er Direktor des Physikalischen Instituts ist. Sein Hauptarbeitsgebiet ist die Physik der Gasentladungen. Bereits im Jahre 1912 entdeckte er zusammen mit GEHRKE die Tatsache scharf definierter Anregungsenergien, deren fundamentale Bedeutung 2 Jahre später durch die Versuche von FRANCK und HERTZ unterstrichen wurde. Das große Gebiet des Stromdurchgangs durch Gase behandelte er in zahlreichen Originalarbeiten. Neben einer Reihe von Handbuchartikeln verfaßte er das bekannteste Lehrbuch über Gasentladung sowie eine Einführung in die angewandte Atomphysik.

Durch eine größere Zahl von Schülern wurden seine Anregungen auch über den Kreis der reinen Wissenschaft hinaus für die Technik fruchtbar gemacht.

Th. Schm.

Wissenschaftliche Tagung der nordwestdeutschen Physiker in Göttingen.

Vom 4. bis 6. Oktober 1946 fand die erste Zusammenkunft der in der britischen Zone ansässigen Physiker statt. In der Geschäftssitzung am 5. Oktober beschlossen die anwesenden ehemaligen Mitglieder der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, die Zulassung einer Deutschen Physikalischen Gesellschaft in der britischen Zone zu beantragen. Sie wählten zum Vorsitzenden Professor M. v. LAUE (Göttingen), zum stellvertretenden Vorsitzenden Professor CLEMENS SCHÄFER (Köln). Die britische Militärregierung hat inzwischen schon die Genehmigung gegeben.

An den genannten Tagen wurden folgende Vorträge gehalten:

J. MEIXNER (Aachen), Theorie der Beugung elektromagnetischer Wellen an der Kreisscheibe.
K. H. LAUTERJUNG (Köln), Empfindlichkeitsänderungen an Lichtzählrohren.
P. MEYER (Göttingen), Über eine Methode zur Bestimmung der Energie und der Energieverteilung ionisierender Teilchen.
F. G. HOUTERMANS (Göttingen), Über das Alter der Welt.
H. MAECKER (Kiel), Experimenteller Nachweis der von Schmidtschen Kopfwelle in der Optik.
H. KOPFERMANN und D. MEYER (Göttingen), Über den Isotopieverschiebungseffekt im WI-Spektrum.
H. BARTELS (Hannover), Stoßentladungen in Quecksilberhöchstdrucklampen.
R. MANNKOPFF und H. PEETZ (Göttingen), Die Akkomodationszeit der Elektronentemperatur in einer stationären elektrischen Entladung.
N. F. MOTT (Bristol), Oxydschichten auf Metallen.
H. KONIG (Göttingen), Ändert sich die Gitterkonstante bei sehr kleinen Teilchen?
E. MOLLWO (Göttingen), Zur Dichte aufgedampfter Salzschichten.
H. JENSEN (Hannover) und F. G. HOUTERMANS (Göttingen), Zur thermischen Dissoziation des Strahlungshohlraumes.
M. v. LAUE (Göttingen), Anschauliches über die Supraleitung.
A. MICHELS (Amsterdam), Einfluß der Wechselwirkung der Elektronen auf die Deformation der Elektronenbahnen.
E. JUSTI (Braunschweig), Supraleitung und periodisches System.
W. HEISENBERG (Göttingen), Zur Elektronentheorie der Supraleitung.
G. W. OETJEN (Göttingen), Optische Untersuchungen an elektrolytischen Lösungen.
E. KUSS (Sack. über Alfeld), Exakte Viskositätsmessungen bis zu 2000 Atmosphären.
K. WIRTZ (Göttingen), Wasserstoffbindung, Resonanz und Molekülverkettung.
F. C. v. WEIZSÄCKER (Göttingen), Zur statistischen Theorie der Turbulenz.
H. A. STUART (Hannover), Verdampfung, Kondensation, Sättigungsdruck und kritischer Punkt im Modellversuch (Unterrichtsfilm).

Herausgeber und verantwortlicher Redakteur: ARNOLD EUCKEN, Göttingen.
Springer-Verlag in Berlin. — Druck: „Muster-Schmidt" KG., Göttingen.